

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ
(підпис)

«___» _____ 2020р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

на тему: «Технологія отримання біоетанолу з целюлозовмісної сировини»

Виконала:

студентка IV курсу, групи БЕ-61

Ревіна Юлія Олегівна _____

Керівник:

К.т.н. доц.

Щурська Катерина Олександрівна _____

Консультант з проектування:

Проф., д.т.н, проф.,

Саблій Лариса Андріївна _____

Рецензент:

К.т.н. асист.

Карпенко Юрій Володимирович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ
(підпис) (ім'я, прізвище)

«__» _____ 2020р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Ревіній Юлії Олегівні**

1. Тема проєкту «Технологія отримання біоетанолу з целюлозовмісної сировини», керівник проєкту доцент к.т.н. Щурська К. О., затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту _____
3. Вихідні дані до проєкту: сировина – солома пшениці; витрата сировини – 2 000 т добу; кількість отримання біоетанолу з 1 т сировини – 300 л. Спроекувати ферментер для культивування дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*.
4. Зміст пояснювальної записки: характеристика сировини, обґрунтування вибору та аналіз технології отримання біоетанолу, характеристика біологічних агентів, біохімічні основи технологічного процесу, характеристика кінцевого продукту, опис технологічного процесу виробництва біоетанолу з соломи, контрольні точки виробництва біоетанолу, матеріальний баланс, опис та обґрунтування конструкції для

виробничого культивування спиртових дріжджів, розрахунок ферментеру, заходи з охорони праці та охорони довкілля.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Технологічна схема отримання біоетанолу з соломи пшениці (A1); Апаратурна схема отримання біоетанолу з соломи пшениці (A1); Креслення ферментера для культивування дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* (A1)

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічна частина дипломного проекту	д.т.н., проф. Саблій Л.А.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературні дослідження, вибір технології		
2	Підбір продуцентів для ферментативного гідролізу та для спиртового бродіння		
3	Розробка апаратурної та технологічної схеми		
4	Розрахунок виробничого обладнання		
5	Розробка креслення апарату		
6	Огляд охорони праці та довкілля при виробництві біоетанолу.		
7	Оформлення пояснювальної записки		

Студент _____ Юлія РЕВІНА
(підпис)

Керівник проекту _____ Катерина ЩУРСЬКА
(підпис)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 97 сторінок, 16 рисунків, 7 таблиць, 54 посилань.

У дипломному проекті було розроблено та розраховано процес виробництва біопалива – біоетанолу з целюлозовмісної сировини, а саме з соломи пшениці. Вихід біопалива на добу складає 533,4 тис. л 98 % - ого етилового спирту. Технологічний процес включає в себе ряд стадій: підготовчі роботи персоналу та приміщень, підготовку поживного середовища та посівного матеріалу, культивування біологічних агентів, ферментативний гідроліз сировини, подальше зброджування дріжджами *Saccharomyces cerevisiae*, ректифікація та зневоднення спирту, пакування. Обґрунтовано вибір технології гідролізу целюлозовмісної сировини методом впливу целюлолітичними ферментами грибів *Trichoderma reesei* на структуру целюлози. Наведено характеристику кінцевого продукту. Розглянуто характеристику запропонованих біологічних агентів: *Trichoderma reesei* – продуцентів целюлолітичних ферментів та *Saccharomyces cerevisiae* - продуцентів спирту.

Описано переваги використання соломи пшениці в якості сировини, так як сировина є економічно вигідною та утворюється у якості відходів сільського господарства в Україні.

Обґрунтовано вибір азеотропного методу зневоднення спирту. Розраховано матеріальний баланс виробничого процесу, розроблена та описана технологічна та апаратурна схеми виробництва біоетанолу. Сформовані методи контролю виробництва на стадіях, що забезпечують моніторинг якісного перебігу процесів. Розраховано та спроектовано виробничий ферментер об'ємом 100 м³, з діаметром 3,6 м для культивування *Saccharomyces cerevisiae*.

Ключові слова: БІОЕТАНОЛ, СОЛОДОВЕ СУСЛО, ГІДРОЛІЗ, ЦЕЛЮЛАЗИ, TRICHODERMA REESEI, БРОДІННЯ, SACCHAROMYCES CEREVISIAE, ФЕРМЕНТЕР, ЗНЕВОДНЕННЯ.

ABSTRACT

The Explanatory note: 97 pages, 16 figures, 7 tables, 54 references.

In the diploma project the process of production of biofuel - bioethanol from cellulose-containing materials, namely from wheat straw. The yield of biofuels per day is 533,4 thousand liters of 98% ethyl alcohol. The technological process includes a number of stages: preparatory works of personnel and premises, preparation of nutrient medium and sowing material, cultivation of biological agents, enzymatic hydrolysis of raw materials, further fermentation by yeast *Saccharomyces cerevisiae*, distillation and dehydration of alcohol, packaging. The choice of technology of hydrolysis of cellulose - containing raw materials by the method of influence of cellulolytic enzymes of *Trichoderma reesei* fungi on the cellulose structure is substantiated. The characteristics of the proposed biological agents are considered: *Trichoderma reesei* - producers of cellulolytic enzymes and *Saccharomyces cerevisiae* - alcohol producers.

The advantages of using wheat straw as a raw material are described, as the raw material is economically profitable and is formed as an agricultural waste in Ukraine.

The choice of azeotropic method of alcohol dehydration is substantiated. The material balance of the production process is calculated, technological and equipment schemes of bioethanol production are developed and described. Formed methods of production control at the stages that monitor the quality of processes. A production fermenter with a volume of 100 m³ and a diameter of 3.6 m for the cultivation of *Saccharomyces cerevisiae* was designed and designed.

Keywords: BIOETHANOL, MALT WORT, HYDROLYSIS, CELLULASE, TRICHODERMA REESEI, FERTILIZATION, SACCHAROMYCES CEREVISIAE, FERMENTER, DEHYDRATION.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ	11
1.1. Характеристика сировини – солома пшениці	11
1.2. Обґрунтування вибору технології отримання біоетанолу	13
1.2.1. Технологія розщеплення молекул целюлози	13
1.2.2. Технологія ректифікації спирту-сирцю	17
1.2.3. Технологія зневоднення етанолу	19
1.3. Характеристика біологічних агентів	24
РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	29
2.1. Схема перебігу процесів	29
2.1.1. Ферментативний гідроліз целюлози	30
2.1.2. Біохімія спиртового бродіння глюкози	36
2.2. Характеристика кінцевого продукту	39
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	43
3.1. Сировина і матеріали технологічного процесу	43
3.2. Опис технологічного процесу виробництва біоетанолу з целюлози	46
3.3. Контроль виробництва біоетанолу	55
3.4. Матеріальний баланс	58
РОЗДІЛ 4. ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ	60
4.1. Опис та обґрунтування конструкції для виробничого культивування спиртових дріжджів	60
4.2. Технічна характеристика апарата	62
4.3. Конструкційний розрахунок апарату	64
4.4. Розрахунок перемішуючого пристрою	66

					ЕКБ.БЕ6117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Стадія	Арк.	Аркушів
Розроб.		Ревіна Ю.О.					6	97
Конс.								
Керів.		Щирська К.О.						
Затверд.						КПІ ім. Ігоря Сікорського,ФБТ		

4.5. Розрахунок барботеру	68
4.6. Тепловий розрахунок	69
4.7. Вибір загальнозаводського обладнання	74
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ	75
5.1. Охорона праці та техніка безпеки	75
5.1.1. Нормування мікроклімату	75
5.1.2. Освітленість	77
5.1.3. Захист від шуму та вібрацій	77
5.1.4. Електробезпека	79
5.1.5. Пожежна безпека	79
5.2. Охорона довкілля	81
ВИСНОВКИ	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	86
ДОДАТОК А	93

ВСТУП

На сьогоднішній день в Україні гостро стоїть питання пошуку альтернативних джерел енергії. Нам відомо такі види джерел енергії, що отримуються з біомаси – біогаз, біодизель, біоетанол, тощо. Біоетанол в якості моторного палива має найбільший потенціал з огляду на сировину. В якості сировини може бути деревина, трав'янисті рослини, відходи сільського господарства, в деякій мірі навіть відходи від харчових виробництв та інші.

Етиловий спирт – найдревніший продукт біотехнології, отримання якого бере свій початок ще з часів древнього Єгипту, який до зараз користується популярністю у багатьох галузях: харчова, фармацевтична, а зараз і галузь біоенергетики.

Тепер етанол знайшов своє використання у світовому ринку у якості додатка до палив двигунів внутрішнього згорання.

Україна має великі можливості у виробництві біопалива. Енергетичний потенціал біомаси в країні майже 23 млн. т/ рік [1].

З 2013 до 2016 року виробництво біоetanолу в Україні значно знизилося через введення акцизу на альтернативні моторні палива: у 2013 виробництво становила 160 тис. т/ рік, тоді як у 2016 лише близько 50 тис. т/ рік. Останніми роками управління розробляє план для інформування та агітування населення для зростання попиту на біоетанол у якості палива. Прогнозоване виробництво етанолу на 2020-2021 рік приблизно 300 тис. т/рік [2,3].

Основною перевагою використання біоetanолу є можливість зменшити вміст шкідливих компонентів у вмісті вихлопних газів. Біоетанол, як додаток до палива, знижує в бензині кількість ароматичних сполук, підвищує октано-

					ЕКБ.БЕ6117.ДП			
					ВСТУП	Стадія	Арк.	Аркушів
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			8	97
Розроб.		Ревіна Ю.О.						
Конс.								
Керів.		Щирська К.О.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ			
Затверд.								

ве число [4].

Вчені роблять висновки, що зростання попиту на біопаливний етанол дозволить досягнути таких цілей:

- зменшити імпорт класичних джерел енергії та зберегти економічну незалежність;
- відновити роботу спиртових заводів по території України, які втратили свої функції;
- ввести в експлуатацію утилізацію відходів, в результаті чого отримаємо біоетанол шляхом ферментації цукро-, крохмале- та целюлозовмісних відходів [5].

Складним є використання целюлозовмісної сировини для виробництва біоетанолу, так як не всі мікроорганізми можуть розщепити целюлозу для отримання етилового спирту.

Целюлоза добре захищена в товстій клітинній стінці рослини, і процеси попередньої обробки використовуються для розщеплення зв'язків лігніну та ксилану в стінці. Цей крок попередньої обробки є активним полем дослідження. Проводилися дослідження з використанням гарячої води, впливом кислотою або додавання вапна для вивільнення молекул, не руйнуючи їх. У цьому відношенні необхідне дослідження різних параметрів, таких як температура, тиск або концентрація хімічних речовин для оптимізації загального процесу.

Іншим варіантом є розкладення целюлози до глюкози, в чому допомагають целюлолітичні ферменти [6]. В якості продуцента целюлолітичних ферментів виступає рід *Trichoderma*. Після обробки целюлозовмісної сировини культуральною рідиною з целюлозою, суміш піддається ферментації дріжджами [5].

Метою роботи є вибір та обґрунтування технології отримання біоетанолу з целюлозовмісної сировини при попередньому ферментативному

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

гідролізі сировини.

Новизною роботи є двоступенева технологія виробництва біоетанолу з використанням целюлаз мікроскопічних грибів роду *Trichoderma* для розщеплення целюлози до глюкози, яка в подальшому проходить класичний шлях спиртового бродіння під впливом дріжджів.

Актуальність роботи полягає в поєднанні двох корисних цілей: збільшити вихід біоетанолу, використовуючи в якості сировини целюлозовмісні відходи. За 2013-2014 рік було зафіксовано такі дані: кількість відходів соломи колосових в середньому 367,6 – 440,5 тис.тон, стебла кукурудзи сухі – 822,1 – 969,7 тис. тон, лушпиння соняшникове – 913,3 – 921,7 тис. тон. Враховуючі дані, бачимо доволі великий потенціал використання цієї сировини [7].

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити ряд задач:

1. Здійснити аналіз існуючих технологій виробництва біоетанолу, навести основні характеристики сировини та біологічних агентів.
2. Обґрунтувати вибір технології виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини із застосуванням целюлолітичних ферментів.
3. Здійснити технологічні розрахунки та вибір обладнання для виробництва біоетанолу. Навести характеристику обраного обладнання. Розрахувати матеріальний баланс процесу.
4. Розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини.
5. Надати основні вимоги з охорони праці та захисту довкілля при виробництві біоетанолу.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		10

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

1.1. Характеристика сировини – солома пшениці

У 2018 році обсяги урожаю пшениці становили 37,3 тис. т , 48% з чого целюлоза. Кожного року в Україні виробляється близько 50–60 млн. тон/рік соломи. За даними Інституту економічних досліджень та політичних консультацій, можливий залишок соломи, який не використовується - 20–40 %, тому доцільним є знайти правильний спосіб утилізації [8].

Целюлозовмісні відходи – найпоширеніша біомаса і має ряд переваг, може застосовуватися як субстрат для біосинтезу целюлаз, при цьому не створюючи фінансових труднощів [20].

Солома пшениці має великий потенціал як целюлозовмісна сировина для виробництва етанолу: в Україні розвинена аграрна промисловість, вирощування пшениці займає одне із перших місць, утворення соломи прямо пропорційні до об'єму врожаю соломи. Масштаби утворених відходів досить великі, що знижує проблему з пошуком сировини [22, 23].

Целюлозовмісні субстрати є практично невичерпними джерелами сировини, тому дослідники приділяють велику увагу саме біодеструкції за допомогою мікроорганізмів для отримання цінних продуктів: біоетанол, біогаз, вітаміни, білки та інше. Ферментація вуглецевої сировини не потребує використання складного обладнання, великих капітальних та енергетичних затрат [23].

Солом'яні види рослин більш рівномірні за складом, ніж різні породи деревини. Як правило, солома має менший вміст целюлози, ніж деревина, але, незважаючи на це, вона має загальну вуглеводну фракцію (голоцелюлозу), приблизно рівну частці деревини. Це пояснюється високим

					ЕКБ.БЕ6117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ревіна Ю.О.			ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ	Стадія	Арк.	Аркушів
Конс.							11	97
Керів.		Щирська К.О.						
Затверд.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		

вмістом геміцелюлози та низьким вмістом лігніну порівняно з деревиною. Зольність більша в соломі, ніж у деревині [25].

Пшенична солома складається з $48,57 \pm 0,30\%$ целюлози та $27,70 \pm 0,12\%$ геміцелюлози на масу сухої речовини і може потенційно слугувати сировиною для виробництва етанолу з низькими витратами [9].

Целюлоза в соломі пшениці має низьку кристалічність. У пшеничній соломі не виявлено метастабільної кристалічної модифікації целюлози І α , проте знайдено лише більш стабільна кристалічна модифікація І β целюлози. На поверхні соломи пшениці існує дві морфології: перша - це структура волокна з фібрилами діаметром близько 5 мкм, а друга - структура волокна з морфологією зазубрин на краю волокна, з якою волокна з'єднані між собою. Судинні пучки складаються з кругових кілець, в той час як спіральні структури целюлозних каркасів, покриті тонкою целюлозною плівкою [10].

Таблиця 1.1 – Вміст деяких елементів в потенційних біопаливах в мг/кг (на суху масу) [11].

Елемент	Солома пшениці	Кора	Деревна тріска	Злакові зерна	Відходи оливи
Зольність, %	3-8	5-8	1-2,5	4-12	2-4
Si	4200- 27000	2000- 11000	440-2900	6800-12000	80-1800
Ca	440-7000	7700- 18000	2900-7000	1400-2800	1500-3400
Mg	100-3200	960-2400	310-800	1100-1200	320-710
K	320-21000	1500- 3600	910-1500	6000-8900	7500-16000
Na	56-4800	71-530	20-110	19-78	74-440
P	110-2900	380-670	97-340	2200-3400	560-1200

Як бачимо вміст Калію та Натрію в соломі пшениці іноді досягає надто високих значень, що є недоліком для використання такої сировини як твердого палива. Рекордний вміст Силіцію та досить високий вміст Фосфору дає можливість використовувати соломку в якості добрива [12].

Таблиця 1.2 – Теплотехнічні характеристики соломи пшениці [13].

Зразок	Вологість, %	Теплота згорання аналітичної проби		Теплота згорання на суху масу	
		Вища, МДж/кг	Нижча, МДж/кг	Вища, МДж/кг	Нижча, МДж/кг
Солома пшениці	10	17,2	15,65	19,11	17,8

З таблиці бачимо, що перспектива використання соломи для спалювання існує, проте, порівнюючи, наприклад з вугіллям (27 МДж/кг) або природним газом (33 МДж/кг), вона невелика. Тому набагато краще використовувати соломку для ферментації. Використовуючи пшеницю соломи таким шляхом можна досягнути багато цілей: створюється екологічно безпечне виробництво, яке майже немає відходів, так як залишки можна відправляти на удобрення ґрунтів. Знижується собівартість вихідної продукції, бо використовується економічно ефективні рослинні відходи [22].

1.2. Обґрунтування вибору технології отримання біоетанолу

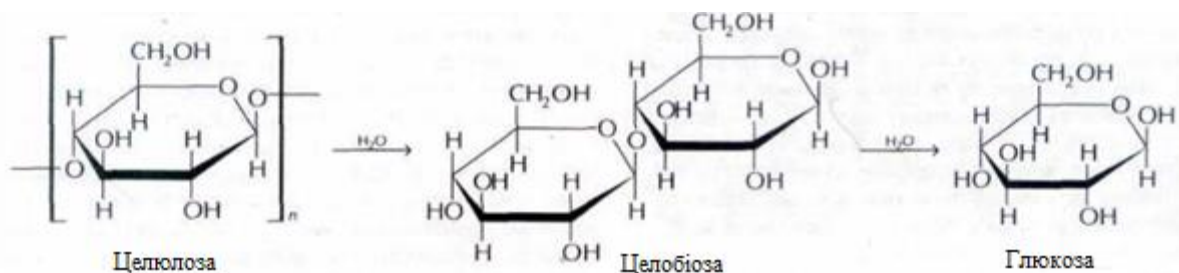
1.2.1. Технологія розщеплення молекул целюлози

За основу виробництва біоетанолу було взято технологію, яка полягає у двоступеневому культивуванні двох біологічних агентів: *Trichoderma reesei* – продуцент ферментів-деструкторів целюлози, *Saccharomyces cerevisiae* NCYC 716 – дріжджі, які здійснюють ферментацію глюкози до етилового спирту.

Виробництво етилового спирту в промисловості традиційно використовує ферментацію глюкози до спирту за допомогою дріжджів, у

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

випадку цукровмісної сировини. Проте, маючи целюлозовмісно сировину існує декілька варіантів гідролізу целюлози.



Головною проблемою конверсії цукрів лігніноцелюлози в етанол є відсутність мікроорганізмів, які здатні ефективно здійснювати ферментування і оцукровування одночасно не тільки глюкозу, а й ксилозу.

Метилотрофні термотолерантні дріжджі *Hansenula polymorpha* – унікальний організм, здатний до алкогольної ферментації ксилоли та глюкози при високих температурах 45-50° С. Перед цим сировину подрібнюють та оброблюють парою.

Промислове використання *Hansenula polymorpha* обумовлене їхньою здатністю до утворення великих об'ємів біомаси у ферментері, що забезпечує високий вихід цільового продукту. *H. polymorpha* ростуть на простих, недорогих поживних середовищах [23]. Дріжджі - строго аеробні організмами, що накопичують максимальну кількість етанолу в умовах обмеженої аерації.

Дріжджі *H. polymorpha* є генетично безпечними організмами та не є носіями патогенності. Вони можуть здійснювати високотемпературну спиртову ферментацію глюкози, ксилози, целобіози. Вивчення технології виробництва етанолу з допомогою *H. Polymorpha* ще знаходиться на стадії розвитку, побічні продукти, утворені в процесі ферментації здійснюють ряд труднощів у їх видаленні. Існують незавершені дослідження біохімії процесу дріжджів, тому не може бути повністю запропонована як достовірна технологія, так як існують традиційні [23].

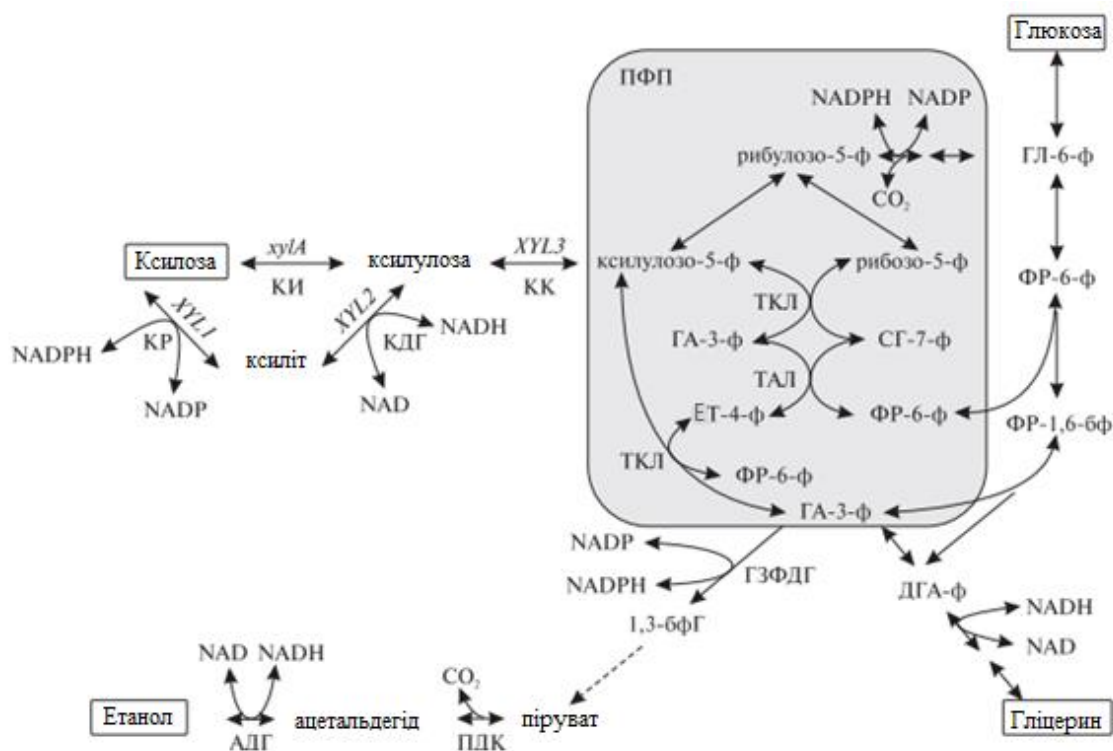


Рис.1.1. Шлях бродіння ксилози до етанолу у дріжджів: ПФП – пентозофосфатний шлях, ГЛ-6-ф – глюкозо-6-фосфат, ФР-6-ф – фруктозо-6-фосфат, ФР-1,6-бф – фруктозо-1,6-бісфосфат, ГА-3-ф – гліцеральдегід-3-фосфат, СГ-7-ф – седогептулозо-7-фосфат, ЕТ-4-ф – еритрозо-4-фосфат, 1,3-бфГ – 1,3-бісфосфогліцерат, ДГА-ф – дигідроксиацетонфосфат, КР – ксилоредуктаза, НДГ – ксилитолдегідрогеназа, КІ – ксилозоізомераза, КК – ксилулокіназа, ТКЛ – транскетолаза, ТАЛ – трансальдолаза, ГЗФДГ – гліцеральдегід-3-фосфатдегідрогеназа, ПДК – піруватдекарбоксилаза, АДГ – алкогольдегідрогеназа [24].

Інший метод - це хімічний гідроліз, який здійснюють за допомогою розбавленої сірчаної кислоти (0,2 - 1 %) при температурі близько 180-190° С, тиску 1-1,5 МПа. Кислотний гідроліз целюлози найпоширеніший метод.

При підвищенні концентрації кислоти та підвищенні температури спостерігається збільшення швидкості гідролізу, проте важливо враховувати фактор впливу на моносахариди, які вже утворилися, щоб запобігти їх руйнації.

В основі методу лежить процес перколяції – фільтрування кислоти через

товщу подрібненої рослинної сировини. При завантаженні субстрату в гідролізний апарат подається нагріта розбавлена сірчата кислота ($70-90^{\circ}\text{C}$), функція якої змочити та ущільнити сировину.

Після того, як утворюються моноцукри, вони переходять у розчин та безперервно видаляються через фільтр та охолоджуються. Розчин, який утворився в результаті – гідролізат. Недоліком методу є агресивність каталізаторів, які можуть здійснювати руйнування моносахаридів.

Замість сірчаної кислоти можна застосовувати хлоридну кислоту з концентрацією 59%.

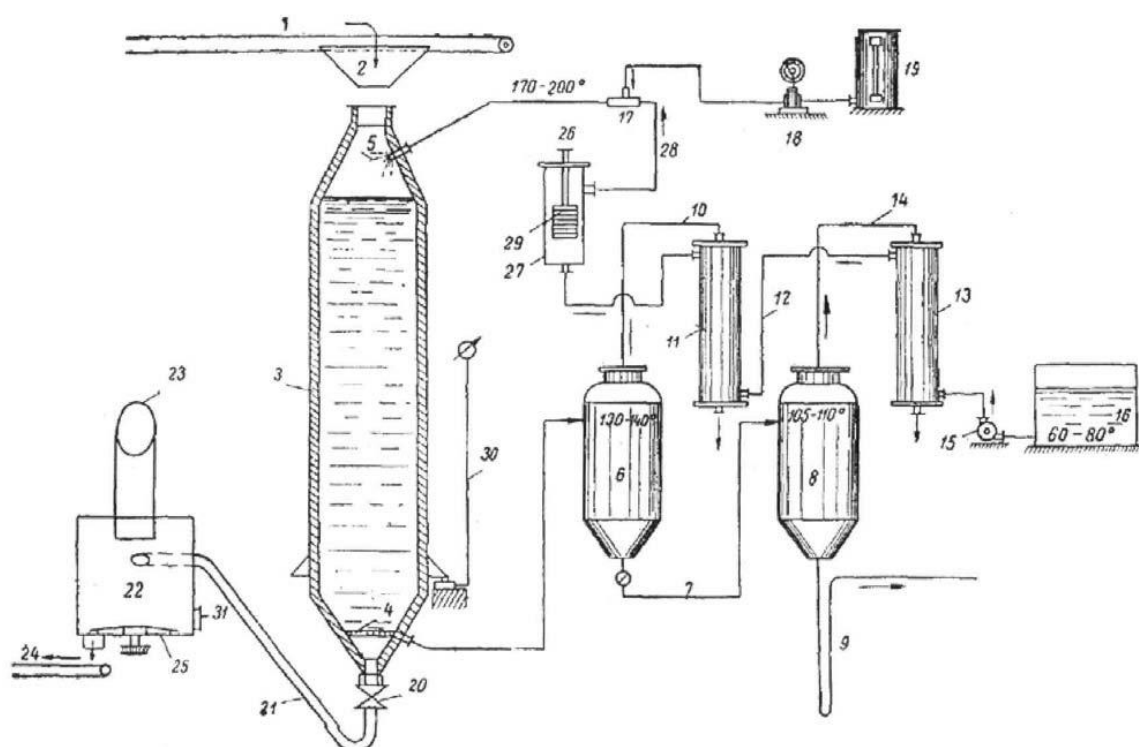


Рис.1.2. Технологічна схема хімічного гідролізу розбавленою сірчаною кислотою: 1 – транспортер , 2 – напрямна лійка, 3 – гідролізний апарат ; 4 – фільтр; 5, 7, 9, 10, 12, 14, 21, 23, 26, 28 - труби , 5, 8 – випарники гідролізату; 11,13 – решофери; 15 – насос; 16 – бак оборотної води; 17 – змішувач води і кислоти; 18 – кислотний насос; 19 – мірник кислоти; 20 – клапан; 22 – циклон для лігніну; 24 – транспортер для лігніну; 25 – мішалка, яка обертається ; 57 – колона для нагрівання води; 29 – диски; 30 – вагомір, 31 – бічні дверцята [1].

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		16

Користується інтересом та популярністю у технологів та науковців ферментний або ензиматичний гідроліз. Ферментативний гідроліз має ряд переваг у порівнянні з кислотним гідролізом. Ферменти, що гідролізують целюлозу, є дуже специфічними і не утворюють небажаних побічних продуктів. Після завершення гідролізу не потрібно проводити нейтралізацію продукту. Капітальні та експлуатаційні витрати значно нижче, оскільки ферментативний гідроліз не потребує високих температур, та дорогого антикорозійного обладнання. Переваги кислотного гідролізу перед ферментативним гідролізом включають короткий час реакції та можливість використовувати целюлозу без дорогої попередньої обробки [25].

Отже, підсумувавши всі переваги та недоліки, обираємо технологію з ферментним гідролізом целюлазами. В якості продуцента комплексу целюлолітичних ферментів обираємо найкраще вивченого представника - *Trichoderma reesei*.

1.2.2. Технологія ректифікації спирту-сирцю

Метою ректифікації є отримання спирту стандартної міцності, з мінімальним вмістом домішок. До складу спирту-сирцю входить ряд небезпечних домішок: складні ефіри, альдегіди, сивушні олії, метанол, тощо. При цьому відходи ректифікації повинні бути отримані в максимально концентрованому вигляді задля того, щоб забезпечити можливість отримання великого виходу стандартного спирту.

В основу технології ректифікації спирту входить зміна леткості спирту і домішок в спиртово-водяні розчини різної міцності. Кількісний вміст домішок порівняно невеликий, тому при розрахунках процесів, що відбуваються у ректифікаційних колонах, зазвичай враховують, що леткість домішок залежить від вміста води та спирту в розчині, який очищається. Тому ректифікація характеризується двома параметрами: «коефіцієнт випаровування», «коефіцієнт ректифікації».

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Коефіцієнт випаровування:

$$K = \frac{A}{a},$$

де A , a – вміст леткого компонента суміші в парах, і в розчині відповідно, мас. %

Коефіцієнт ректифікації:

$$K = \frac{K_{\text{сум}}}{K_{\text{сп}}},$$

де $K_{\text{сум}}$, $K_{\text{сп}}$ – коефіцієнт випаровування суміші і спирту.

Майже усі домішки мають більший коефіцієнт випаровування, ніж етиловий спирт [39].

Ректифікація може відбуватися в:

- в апаратах прямої дії
- в апаратах напівпрямої дії
- в апаратах побічної дії

Апарати прямої дії доволі економічно вигідні за витратою теплоти, проте вони дають менше ректифікованого спирту. Якість спирту нижче ніж на апаратах інших типів. В додаток порушення режимів в бражній і еспураційній колонах позначається на роботі ректифікаційної колони, що ускладнює керування апаратом.

В апаратах напівпрямої дії бражка не піддається попередній еспурації, а поступає зразу в бражну колону. Через сепаратор пари поступають в еспураційну колону. В апаратах даного типу відсутня можливість попадання часток бражки в ректифікаційну колону, що забезпечує високу якість спирту на виході. Важливим недоліком є те, що бражна колона пов'язана з ректифікаційною, маючи 50 тарілок вище входу. Враховуючи це потрібно підвищувати тиск у бражній колоні, при нестачі пари знижується продуктивність установки. Цей недолік відсутній у апаратах побічної дії. Апарати напівпрямої дії знайшли широке застосування в промисловості, так як прості в експлуатації, економічні у витратах теплоти у співвідношенні з

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

високим виходом продукту, дають стандартний ректифікат та концентровані відходи.

В апаратах побічної дії пари конденсуються в бражному конденсаторі та у рідкому вигляді поступають на епюрацію. Тип апаратів має ряд переваг над іншими типами. Апарати представляють собою комбінування бражної колони, де утворюється слабкий спирт-сирець, та ректифікаційної колони. Апарати такого типу дозволяють отримувати спирт вищого очищення при великій щільності зрошення і малих втратах спирту. Такі апарати мають високий вихід та якість кінцевого продукту та широко застосовуються [40, 41].

Найкраще застосовувати триколонну установку побічної дії.

1.2.3. Технологія зневоднення етанолу

Спирт, який отримується звичними методами ректифікації, не може мати більше 95,7% концентрації, так як ця величина відповідає вмісту його в азеотропні, утвореному спиртом з водою при нормальному тиску.

Абсолютний спирт утворює стійкі суміші з бензином. Додавання абсолютного спирту підвищує антидетонаційні властивості моторного палива, що дозволяє використовувати вищі ступені його стиснення. Для досягнення значень абсолютного спирту потрібно проводити зневоднення.

Існує декілька методів отримання абсолютного спирту:

- зв'язування води твердими водозв'язуючими матеріалами на холоді;
- використання рідких водозв'язуючих речовин;
- методи, основані на явищах азеотропізму;
- використання сольових розчинів, які зміщають азеотропну точку;
- використання явищ дифузії парів через пористі перегородки;
- абсолютування (зневоднення) під вакуумом.

Серед перелічених методів найбільше практичне застосування знайшли *азеотропний метод та метод сольової дегідратації*.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Азеотропний метод базується на використанні третього компонента – бензола. В потрібній суміші вода – бензол – етанол утворюються азеотропи:

Таблиця – 1.3. Азеотропи суміші вода – бензол – етанол.

Компоненти	Склад, % мас.			Температура кипіння, °С
	етанол	вода	бензол	
Етанол – вода	95,57	4,43	-	78,15
Бензол – вода	-	8,83	91,17	69,25
Етанол – бензол	32,4	-	67,6	68,25
Етанол – бензол - вода	18,5	7,4	74,1	64,85

Як видно з таблиці найменшу температуру кипіння має потрібна азеотропна суміш. Тому спершу при зневодненні водно-спиртової суміші в присутності бензола буде зникати як головний продукт потрібний азеотроп з температурою кипіння 64,86 °С.

Потрібний азеотроп забирає всю воду, яка є в системі, проте, кількість води не повинна бути занадто велика. Тому розчин, який поступає на зневоднення, повинен містити не менше 80% мас. спирту.

В результаті перегонки у нижню частину колони стікає абсолютований спирт.

Потрібний азеотроп поступає в дефлегматор, де конденсується. Частина конденсата повертається а колона як флегма, а інша частина поступає на холодильник і в декантатор. У відстійнику охолоджена суміш утворює два шари. У верхньому слої мало води і має вміст у мас. %: етанол 13,3, бензол 85,0, вода 1,7. Склад нижнього шару: етанол 49,7, бензол 9,0, вода 41,3.

Верхній шар повертається в колону, а нижній поступає у промивну посудину для промивки. В промикачі відділяється бензол, а етанол рециркулює в колону для зневоднення (рис. 1.3.).

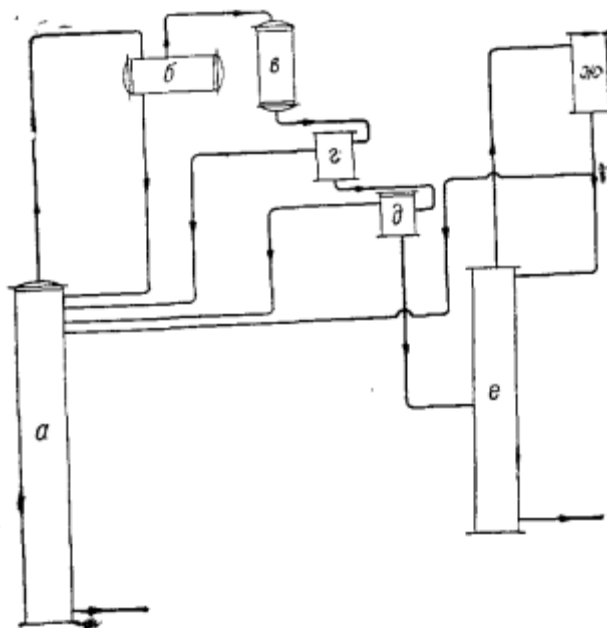


Рис.1.3. Принципова схема зневоднення азеотропним методом: *а* – ректифікаційна колона, *б* – дефлегматор, *в* – холодильник, *г* – декантатор-відстійник, *д* – промивальна посудина, *е* – зневоднююча колона, *ж* – дефлегматор.

В результаті роботи зневоднюючого апарата утворюється абсолютний спирт та вода. Бензол весь час циркулює і його кількість залишається постійна, не рахуючи втрат.

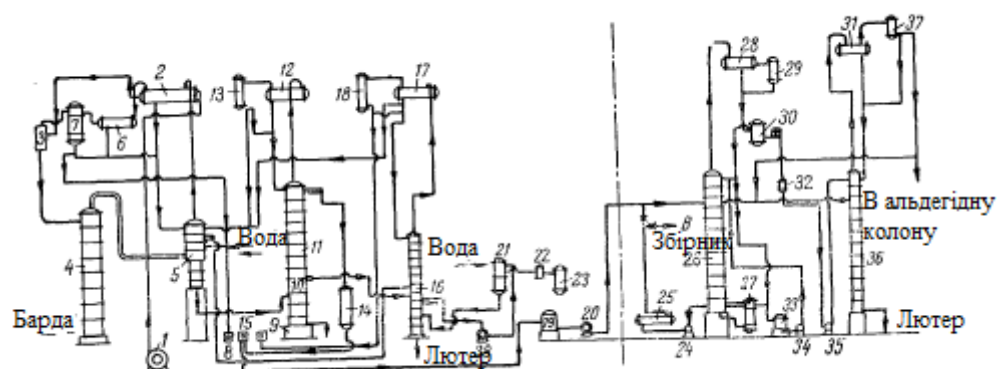


Рис.1.4. Апаратурна схема отримання абсолютного спирту: 1 – бражний насос, 2 – брагонагрівач, 3 – сепаратор, 4 – бражна колона, 5 – епюраційна колона, 6, 12, 17, 31 – дефлегматори, 7, 13, 18, 28, 37 – конденсатори, 8 – лампа альдегідної фракції, 9 – ректифікаційна колона, 10 – акумулятор, 11 – закріплююча частина колони, 14, 22, 25, 29 – холодильники, 15 – спиртова

лампа, 16 – сивушна колона, 19 – збірник ректифіката, 20, 24, 34, 35, 38 – насоси, 21 – олієпромивач, 23 – чан для сивушної олії, 26 – дегідратаційна колона, 27 – кип'ятильник, 30 – декантатор, 32 – збірник низькоконцентрованого спирту, 33 – збірник верхнього шару, 36 – концентраційна колона.

Економічно вигідним шляхом отримання спирту є отримання спирту безпосередньо із бражки (рис.1.5.).

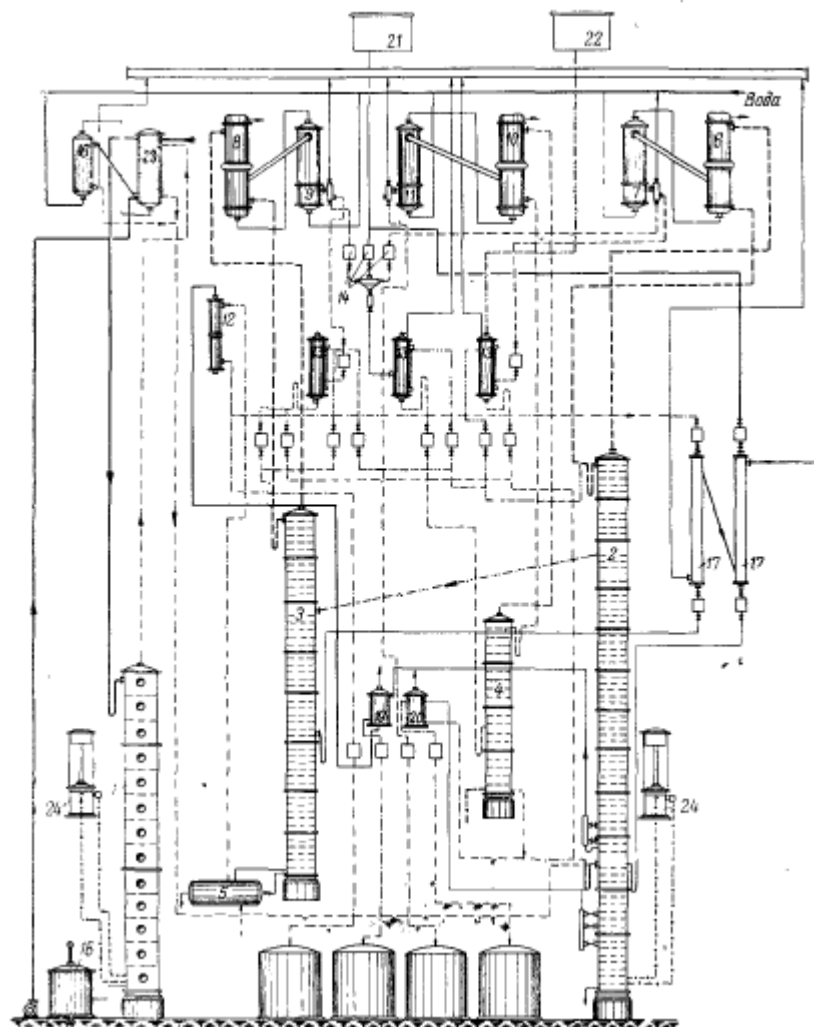


Рис.1.5. Отримання абсолютного спирту з бражки: 1 – бражна колона, 2 – ректифікаційна колона, 3 – зневоднююча колона, 4 – еспюраційна колона, 5 – випарювач спирту, 6, 8, 10, 23 – дефлегматори, 7, 9, 11, 16 – конденсатори, 12, 19 – холодильники, 13 – декантатор, 14 – оглядові ліхтарі, 15 – змішувач, 17 – промивні колони, 18 – бардорегулятор, 20 – мас-відділювач, 21 – бак для лютерної води, 22 – бак для бензолу, 24 – парові регулятори.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		22

Працюючи за цією схемою отримуємо абсолютний спирт з показниками вмісту: міцність 99,8%, альдегіди 0,003%, ефіри 55 мг/л зневодненого спирту, сивушна олія 0,0035 %.

Одним із суттєвих недоліків азеотропного методу є вміст в абсолютному спирті частки дегідранта. Тому азеотропний метод краще не застосовувати для отримання чистого кінцевого спирту.

Для отримання хімічно чистого абсолютного спирту краще застосовувати метод *сольової дегідратації*. Принцип методу полягає в тому, що водно-спиртова суміш у вигляді пару направляється у колону назустріч стікаючому по тарілках розчину солі в абсолютному спирті. В якості розчинюючої речовини використовується: оцтовокислий калій, хлористий кальцій, їдкий натр, хлористий цинк. Міцність спирту, отриманим сольовим методом 99,95 – 99,97% [41].

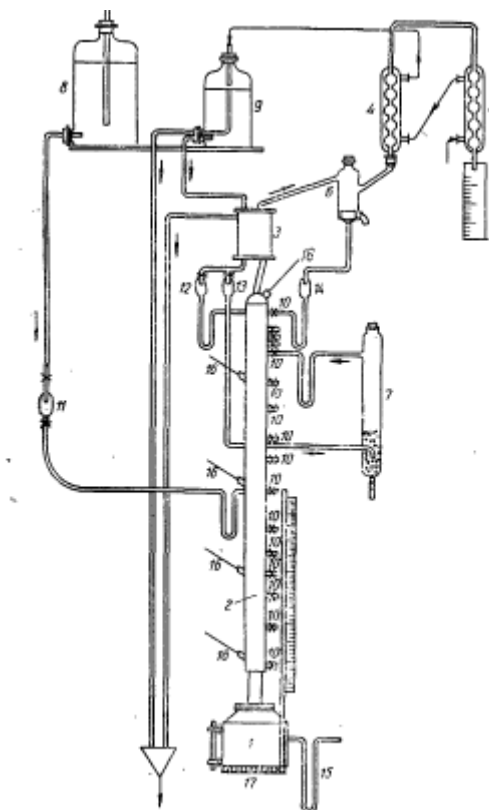


Рис.1.6. Схема зневоднення спирту сольовим розчином: 1 – куб, 2- колона, 3- сепаратор, 4,5 – конденсатори, 6 – розділювач, 7 – розчинник солі,

8 – посудина Маріотта, 9 – напор води, 10 – крани, 11-14 – крапельниці, 15 – гідравлічний затвор, 16 – термометри, 17 – електроплитка [41].

Метод має багато перспектив, проте не набув широкого поширення. Використання даного методу буде не доцільним, так як технологія має ряд прогалин та знаходиться на стадії дослідження.

Для використання отриманого спирту у якості палива обираємо *азеотропний метод*.

1.3. Характеристика біологічних агентів

Основною проблемою розповсюдження технології біоконверсії цукрів лігніноцелюлози в біоетанол є відсутність біологічних агентів, які мають здатністю ефективно розщеплювати полімери. Винні дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, які використовуються у традиційній технології отримання спирту, не мають здатності ферментувати пентози [23]. Тому важливо знайти вирішення цієї проблеми та впровадити застосування продуцентів целюлозо-деградуючих ферментів.

Trichoderma reesei

Гриби роду *Trichoderma* – широка група мікроорганізмів, які відіграють доволі важливу роль в природі. Найчастіше представники зустрічаються на ґрунтах і на змертвілій деревині. Телеоморфна форма утворює коричневу строму 1,5—2,7 мм діаметром з перитеціями. Колонія на солодовому агарі на 4 день утворює міцелій 5 – 7 см в діаметрі з жовто-зеленим забарвленням.

Оптимальні умови культивування: рН = 4,0 – 6,0 та температура 50-60°C; діапазон життєздатності : рН = 3,0-7,0 та температура 30-70°C [28].

Рід *Trichoderma* має целюлолітичну та хітинолітичну активність, тому представників цього роду часто використовують для отримання ферментів, що розщеплюють целюлозу, лігнін, хітин та пектин. Антагоністична активність грибів по відношенню до багатьох фітопатогенів, обумовлює

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

використання грибів у якості біофунгіцидів.

Літична і антагоністична активність забезпечується декількома генами, які кодують позаклітинні гідролази, в тому числі ендохітинази, β -N-ацетилгексоамінідази, протеази, хітин-1,4- β -хітобіозидази, ендо- и екзо- β -1,3-глюканази, ліпази, ксиланази, мананази, пектинази, пектинліази, амілази, фосфоліпази, РНКазі, ДНКазі, тощо.

Хітинолітичні та глюканолітичні ферменти гідролізують клітинні стінки фітопатогенів, оскільки руйнують полімери, які не зустрічаються в рослинних клітинах. Кожен клас гідролаз складається із декількох ферментів, які відрізняються за активністю [28].

Trichoderma відносяться до класу *Hyphomycetes*, порядок *Inomycetes* – плісневі гриби, у яких відсутні плодові тіла, гіфи розвинені і складають основу тіла гриба. Раніше назва *Trichoderma reesei* відносилась тільки до анаморфной стадії гриба, а телеоморфа називалася - *Hypocrea jecorina* [27].

Целюлазна система представлена 2-ма глюкозидазами, 5-ма ендоглюканазами, 2-ма глюкозидазами. Ферменти стійкі в діапазоні рН 4-6, проявляють високу активність в області рН 4,5-7, при температурах 45-70° С [26].

Джерело вуглецю. Сприйняття різних видів джерел вуглецю для різних штамів – відрізняється. Зазвичай найкращі джерела – це D-фруктоза, D-маноза, D-ксилоза, декстрин. В той час, як деякі види добре споживали сахарозу та гліцерин, інші види на них майже не росли.

Джерело азоту. Існує думка, що в якості джерела азоту потрібно використовувати амінокислоти, проте вони є бідними джерелами. Нітрит натрію, наприклад, показував токсичний вплив та інгібував ріст культури. Найкращі результати показувало вирощування на середовищах, збагачених іонами амонію – сульфат амонію або амоніачна селітра.

Максимальний ріст культури спостерігається при рН в межах 3,7- 4,7. Зміна рН – середовища впливає на накопичення кінцевого продукту та на

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

обмін речовин особини. Гриби триходерми – аероби, тому важливим є злагоджена система аерації. Так, наприклад, при культивуванні в колбах Ерленмейєра важливим є рівень поживного середовища: не більше 20% від об'єму колби. Оптимальна швидкість перемішування 150 об/хв..

Для підтримки продуктивності отримання культуральної рідини потрібно дотримуватися правил освітлення: освітлення синього кольору, ділянка ближчого ультрафіолета. При чергуванні освітлення та затемнення кожні 12 годин спостерігається рясне конідієутворення [20].

Колонії добре ростуть на сусло-агарі, колонія має вигляд: завжди зональна, опушена пластівчастим повітряним міцелієм, зворотний бік не забарвлений [21].

Після проведення гідролізу, утворену глюкозу потрібно зброджувати до отримання бажаного біоетанолу, що характерно для традиційних дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*.

Saccharomyces cerevisiae

Клітини мають сферичну, еліпсоїдно або трохи подовжену форму. Розташовуються поодинокі або парами, іноді утворюють короткі ланцюги або малі грони.

Штами *Saccharomyces cerevisiae* розділяють на раси низового та верхового бродіння. Спиртові дріжджі відносять до раси верхового бродіння. В кінці бродіння низові дріжджі осідають на дно, формуючи щільний осад, а верхові – спливають на поверхню утворюючи шар.

Найбільш відома властивість дріжджів – здатність до спиртового бродіння. Багато видів можуть переключатися між бродильним і дихальним метаболізмом в залежності від умов: при наявності кисню бродіння інгібується і дріжджі починають дихати, у відсутності кисню включається механізм спиртового бродіння. Так як кисневе дихання – енергетично більш вигідний процес, чим бродіння, то вихід біомаси дріжджів в розрахунку на

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

одиницю використаного субстрату вище при вирощуванні їх у аеробних умовах, ніж у анаеробних. Таке явище називається ефектом Пастера [29].

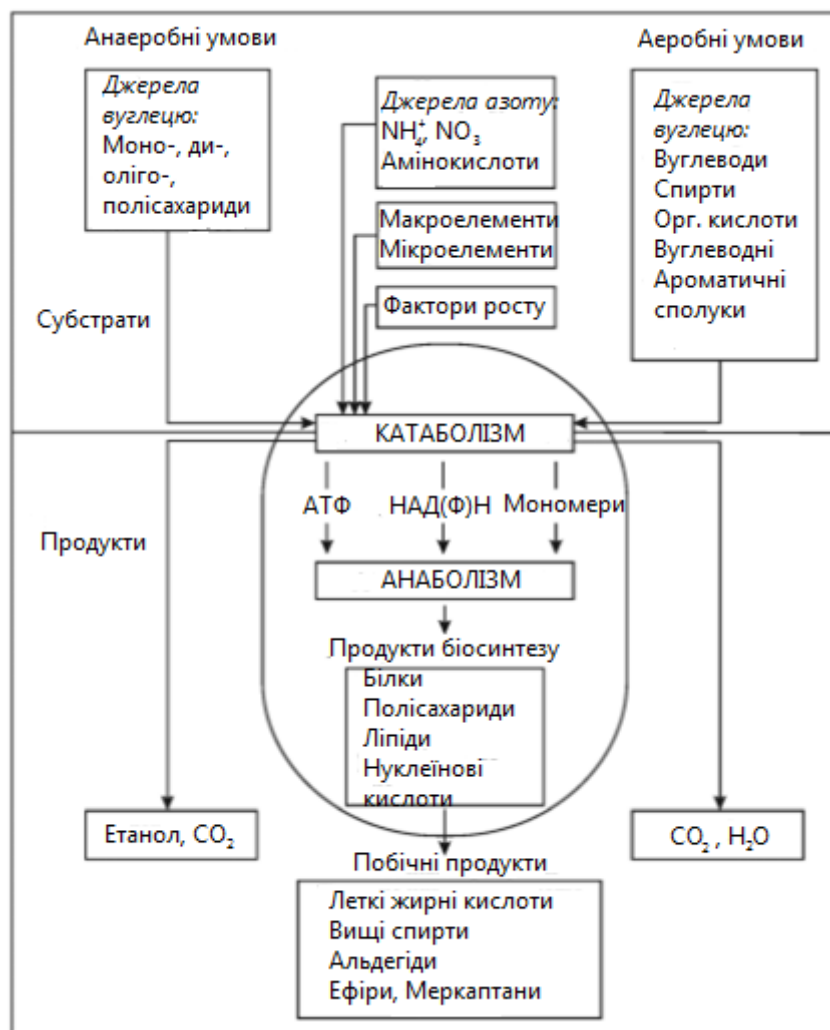
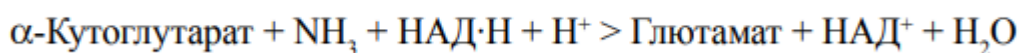


Рис.1.7. Загальна схема метаболізму дріжджів [29].

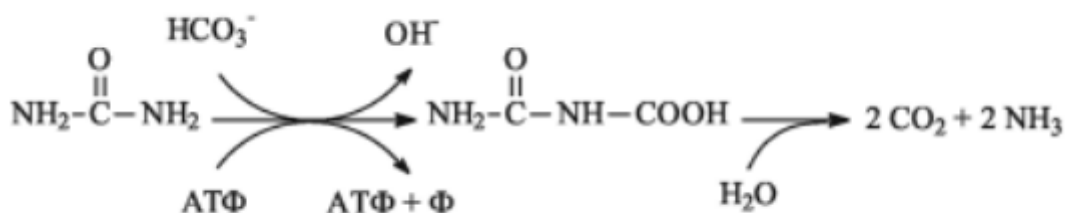
За реакцією на бродіння дріжджі виділяють двох видів: пилеподібні та пластівцеподібні. Основою такої класифікації лежить відмінність флокуляційних властивостей. Пластівцеподібні дріжджі після завершення бродіння утворюють флокули, осідаючи або піднімаючись на поверхню. Пилеподібні під час всього бродіння знаходяться в завислому стані. Пилевидні дріжджі продукують менший приріст біомаси, але володіють високою бродильною активністю [14].

Для росту дріжджів в поживне середовище вносять такі **джерела азоту**, як амоній або його солі, сечовину або амінокислоти. Азот амонія

включається в метаболізм за допомогою реакції амінування:



Всі дріжджі використовують сечовину, як джерело азоту: спочатку карбоксилюється сечовина з утворенням алофоната, який потім гідролізується з утворенням CO_2 і NH_3 :



Найкраще *S.cerevisiae* ростуть при $\text{pH} = 2,5-3$, але можуть витримувати діапазон $\text{pH} = 2-4,5$.

Найвідомішим інгібітором є циклогексимід, який подавляє синтез цитоплазматичного білка на полірибосомальному рівні [29].

Як **джерело фосфору** зазвичай додають ортофосфати, також в невеликих дозах солі Калію, Магнію та Кальцію. Культура *Saccharamyces cerevisiae* потребують додавання біотину [16].

РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

2.1. Схема перебігу процесів

В США існує декілька розробок промислових процесів отримання етанолу із целюлозовмісної сировини в рамках національної програми «Спиртове паливо», «Паливо із біомаси» і «Удосконалення біомаси». Теоретичні аспекти цих розробок і проблеми оптимізації процесів, як правило, вивчаються і вирішуються різними науковими організаціями і компаніями.

Компанія «Галф Оіл Кемікалз (Gulf Oil Chemicals)» вирішила створити завод з виробництва біоетанолу, проект якого був розроблений експертом цієї компанії Г.Емертом. Процес ґрунтується на одночасному проведенні оцукрювання і ферментації. Для оцукрювання вихідної сировини – суміші целюлозовмісних відходів – використовують ферменти целюлозного комплексу *T.reesei* у вигляді культуральної рідини. Ферменти виробляються в безперервному режимі на середовищі, в якому джерелом вуглецю служить вихідна сировина для оцукрювання (15% від усієї сировини). Ферментація здійснюється з допомогою дріжджів, при тому протікає одночасно з ферментативним гідролізом целюлозовмісної сировини. Пілотна установка представляє собою реактор перемішування, концентрація етанолу в кінці процесу – 3,5%. Поєднання процесів призводить до економії часу і унеможливорює інгібуючий вплив глюкози на стадію гідролізу. Рідкі відходи після ферментації використовують у якості корму для ВРХ, тверді відходи слугують паливом для заводу – в основному це лігнін.

На основі результатів, отриманих на пілотній установці був розроблений проект повномасштабного процесу. Він базується на переробці 2000 т/день

					ЕКБ.БЕ6117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	Стадія	Арк.	Аркушів
Розроб.		Ревіна Ю.О.					29	97
Конс.								
Керів.		Щирська К.О.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Затверд.								

сухих целюлозовмісних відходів, які вміщують приблизно 57% целюлози.

Типовий вихідний матеріал вартістю в середньому 15,75 доларів за тону складається на 2/3 з міських твердих відходів (легка фракція) і на 1/3 з відходів паперової пульпи. Переробка 1 т відходів дає в сумі 300 л 95%-ого спирту. Переробка 2000 т/день целюлозовмісних відходів дає 600 тис. л/день спирту. Стадія одночасного оцукрювання і ферментації відбувається швидше ніж окремі процеси по черзі, де оцукрювання займає 2-6 днів, а ферментація 2 дня. Одночасний процес проходить в безперервній серії ферментерів з загальним часом утримання 1 доба. Використання послідовної серії ферментерів дозволить виключити і стерилізувати інші, не перериваючи весь процес [36].

Технологія передбачає ряд загальних стадій: підготовчі роботи, підготовка сировини, ферментний гідроліз, спиртове бродіння (ферментація), дистиляція спирту, ректифікація спирту-сирцю.

Головними біохімічними процесами технології є : ферментний гідроліз та спиртове бродіння. Важливим моментом є огляд повного перебігу процесів отримання біоетанолу із целюлозовмісної сировини.

2.1.1. Ферментативний гідроліз целюлози

В природі існує велика кількість мікроорганізмів-продуцентів ферментів, що гідролізують полісахариди до моносахаридів. Ферментоліз полісахаридів з перетворенням їх у розчинний асимілюючий стан лежить в основі вуглеводного живлення дереворуйнівних грибів, деяких бактерій. Ферментативний гідроліз рослинної сировини має багато перспектив в промисловості. У 1953 році академік А.А. Імшенецький писав, що целюлоза – сировина майбутнього і гідролізна промисловість, яка останнім часом інтенсивно розвивається, не може пропустити можливість застосування ферментних препаратів, що гідролізують целюлозу з утворенням цукрів.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Основні позитивні особливості ферментного гідролізу: специфічність ферментного каталізу, обумовлена вибірконим гідролізом глікозидних зв'язків полісахаридів; відсутність деструкційних реакцій на моносахариди; можливість проведення гідролізу при не високих температурах. Серед недоліків є специфічна кінетика ензиматичних реакцій та тривалість.

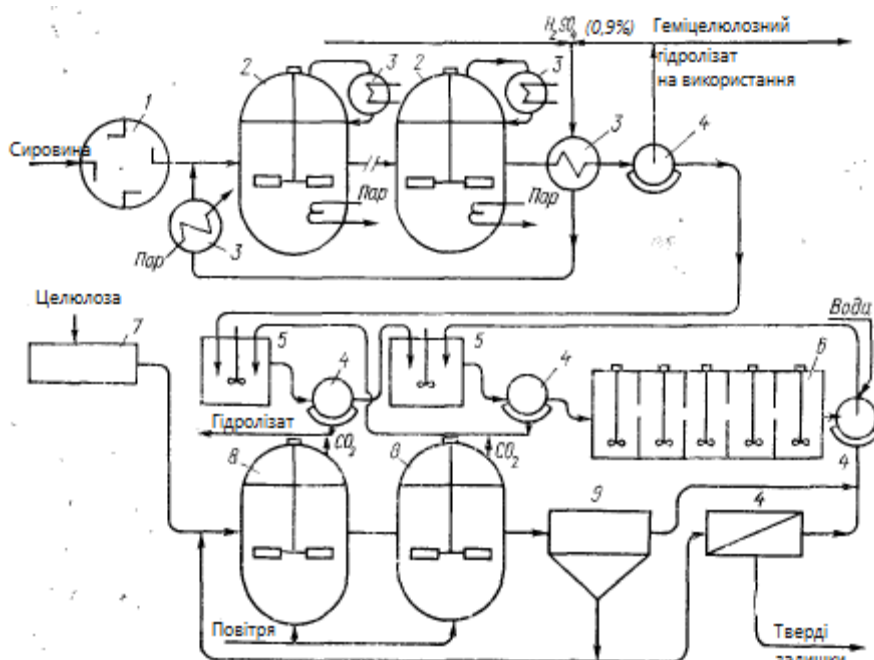


Рис.2.1. Принципова технологічна схема ферментативного гідролізу рослинної сировини: 1 – млин для подрібнення сировини, 2 – реактори для пере гідролізу, 3 – теплообмінники, 4 – фільтри, 5 – збірники-мішалки для регенерації ферментів, 6 – реактор для ферментного гідролізу, 7 – стерилізатор, 8 – ферментери для культивування, 9 – центрифуга [33].

Існує дві целюлолітичні ферментні системи, що продукуються мікроорганізмами в природі. Один складається з вільних ферментів, що експресуються та виділяються здебільшого аеробними організмами в середовище культури, а другий складається з мініцелюлосом, прив'язаних до клітинної стінки анаеробних мікроорганізмів.

Целюлази мають каталітичний домен та вуглеводневий зв'язуючий модуль, що пов'язані пептидами з великими залишками треоніну та серину.

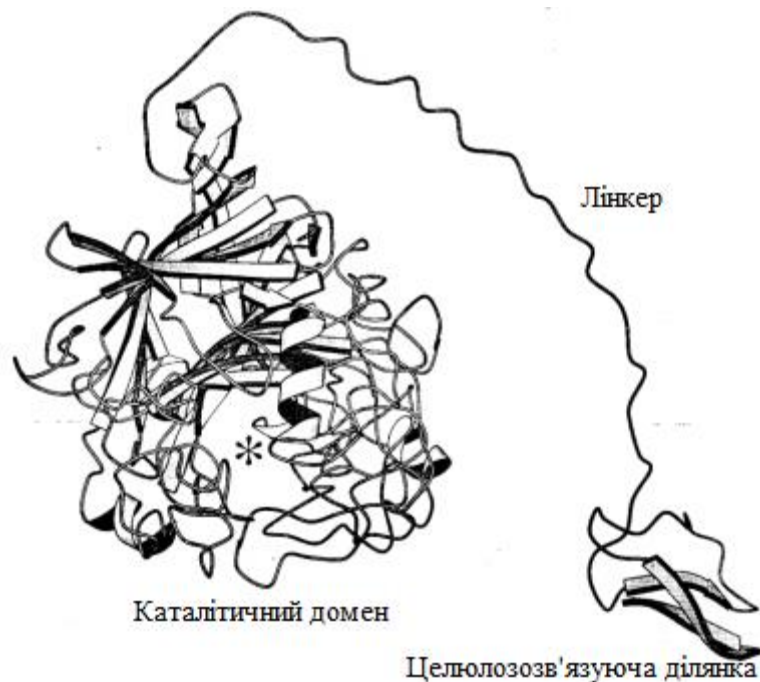


Рис.2.2. Схема структури інтактної ділянки ферментного комплексу *T. reesei* з активним центром, позначеним зірочкою [28].

Повний гідроліз целюлози залежить від синергічної дії трьох основних целюлаз:

- ендоглюканаз (1,4- β -D-глюкан 4-глюканогідролази);
- екзоглюканаз, включаючи целодекстринази (1,4- β -D-глюкан глюканогідролази), і целобіогідролази (1,4- β -D-глюкан целобіогідролази);
- β -глюкозидази (β -глюкозидні глюкогідролази).

Ендоглюканази розщеплюють 1,4- β -D-глюкозидні зв'язки на нередукуючих кінцях, отримуючи целобіозу та целоолігосахариди. Екзоглюканази розщеплюють як редукуючі так і нередукуючі кінці целюлозних ланцюгів для вивільнення целобіози і глюкози як кінцеві продукти. Третя група β -глюкозидази гідролізує целобіозу в глюкозу, що виключає пригнічення целобіози.

Мініцелюлосоми — вважаються переважаючими ферментними системами, які були виявлені в анаеробних гідролітичних бактеріях. Когезинвмісний скелефодин і докеринвмісні ферменти — компоненти, що

відрізняють МЦ від вільних ферментних систем.

Синергетична активність різних ферментів в мініцелюлосомах та щільна, специфічна спорідненість зв'язування з субстратом дозволяють ефективно гідролізувати целюлозу [26].

Целюлази, що використовуються для сучасних промислових застосувань, є переважно грибовими, насамперед завдяки ефективності секреції грибових ферментів.

Під дією оптимальних умов та потрібного субстрату продуценти целюлолітичних ферментів починають ензимну активність. Культуральну рідину з ферментним комплексом поміщають до сировини і починається процес ферментного гідролізу. Ендоглюканази руйнують внутрішні глюкозидні зв'язки, при цьому збільшуючи кількість відновлених кінців ланцюга полісахаридів. Екзоглюканази відщеплюють олігонуклеотиди (головним чином целобіозу) з відновлюючи і невідновлюючих кінців. Целобіоза – дві молекули глюкози, з'єднані β -1,4-зв'язками. Розщеплення целобіози відбувається під дією β -глюкозидазами. Гідроліз целобіози необхідний, оскільки вона може інгібувати дію інших ферментів у комплексі (Рис.2.3).

Ендоглюканази здібні розщеплювати аморфну целюлозу, проте гірше справляються з кристалічною формою.

Як відомо першими в процес біоконверсії целюлози вступають ендоглюканази, оскільки молекула природної целюлози складається з декількох тисяч мономерних глюкозидних одиниць і кількість кінцевих глюкозних залишків у вихідному полімері дуже мало, щоб дія екзоферментів була помітна на початкових стадіях гідролізу. Проте, кожна атака ендоглюканази призводить до розриву полімерного ланцюга і до відповідного утворення двох нових кінців у скороченій молекулі целюлози, які в свою чергу можуть приймати атаку екзоферментами. Роль екзоферментів і швидкість їх дії прогресивно збільшується по мірі деградації

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		33

целюлози ендоферментами (рис.2.3).

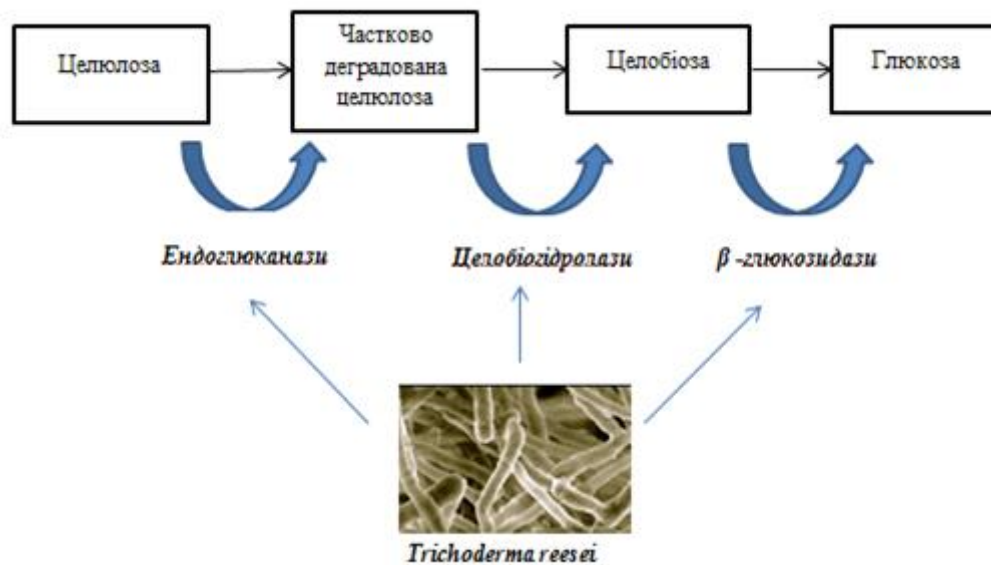


Рис.2.3. Ферментний гідроліз целюлози.

Екзоферменти, що діють на частково розщеплену целюлозу, представлені в целюлозних комплексах двома видами – одні відщеплюють від кінців відразу кінцевий продукт гідроліза целюлози – глюкозу, інші, із-за специфіки будови активного центра, - целобіозу – димер глюкози. Перший тип екзоферментів називається екзоглюкозидазою, другий – екзоцелобіогідралазою. Нарешті, целобіоза розщеплюється, утворюючи дві молекули глюкози під дією останнього фермента целюлозного комплексу – целобіази (Рис.2.4.) [34].

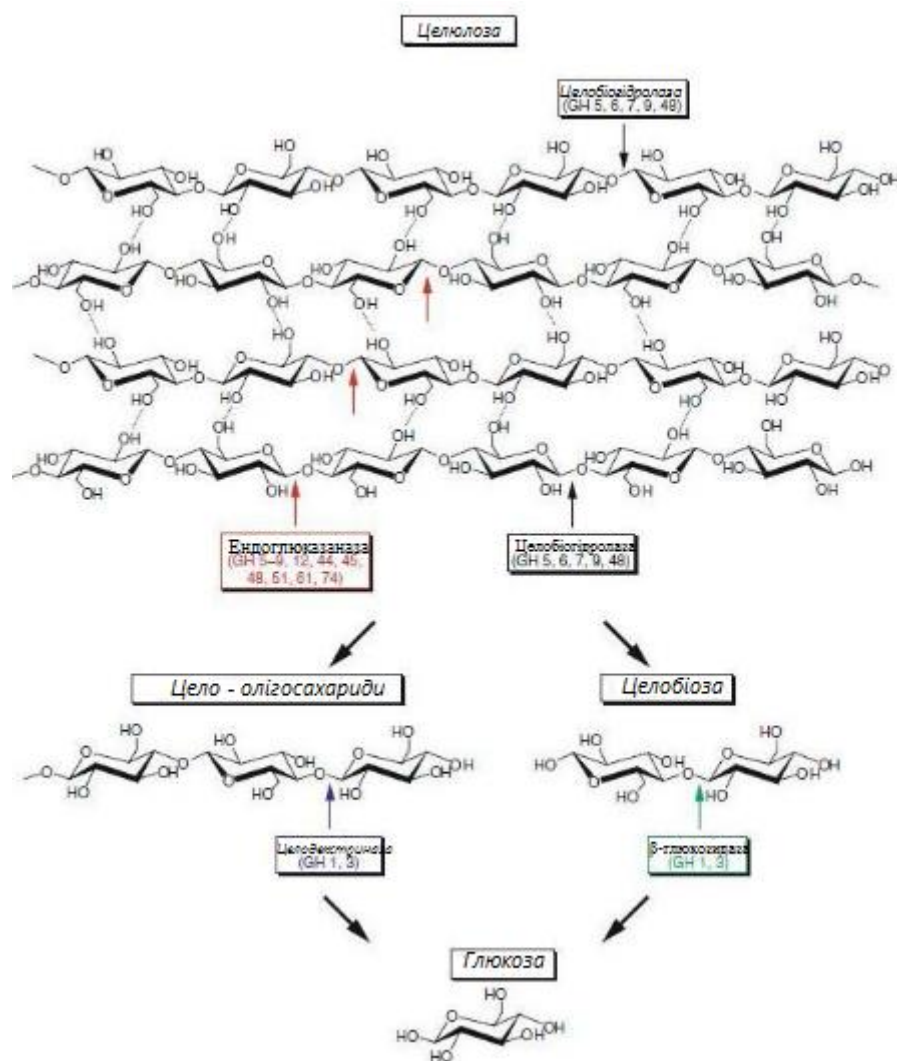


Рис.2.4. Біохімічна схема розщеплення целюлози до глюкози.

Ферментативний гідроліз целюлози відбувається в результаті послідовно-паралельних дій декількох ферментів, які входять до складу целюлозного комплексу. Загальна кінетична схема дії комплексу на природну целюлозу може представлятися у такому виді:

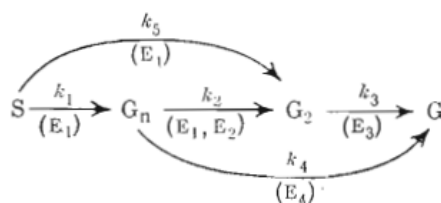


Рис.2.5. Кінетична схема дії ферментного комплексу целюлаз.

Ця схема (рис.2.5.) відображає основні шляхи гідролітичної деградації

целюлози. Ендоглюканаза (E_1) атакує субстрат (S), призводячи до утворення олігосахаридів різного ступеня полімеризації (G_n), а також целобіози (G_2). Крім цього целобіоза може утворюватися у вигляді продукту специфічної дії целобіогідралази (E_2) на ті ж олігосахариди. Целобіоза гідролізується до кінцевого продукту – глюкози (G), під дією ще одного ферменту – целобіози (E_3). На завершення екзоглюкозидаза (E_4) шунтує поліферментну систему, перетворюючи проміжні олігосахариди в глюкозу [35].

2.1.2. Біохімія спиртового бродіння глюкози

В зв'язку з тим, що спиртові дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* асимілюють готові сполуки органічного походження і не засвоюють H_2CO_3 , вони відносяться до гетеротрофних мікроорганізмів, а за типом дихання – факультативні анаероби, так як здібні розвиватися як у анаеробних умовах при відсутності кисню, так і в аеробних умовах.

В ході спиртового бродіння відбувається ферментативне перетворення гексозних моносахаридів в анаеробних умовах, що призводить до їх неповного окиснення і супроводжується виділенням енергії. В окислювальних реакціях акцептором водню являється не кисень, а проміжні продукти перетворених вуглеводів, наприклад оцтовий альдегід. Біохімічні процеси анаеробіоза протікають всередині дріжджової клітини, куди через напівпроникну оболонку поступають моносахариди і необхідні неорганічні поживні речовини. Продукти метаболізму дріжджів – етанол, диоксид вуглецю, домішки виділяються в бродильне сусло. Спиртове бродіння можна роздивитися по основним стадіях (Рис.2.6.).

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		36

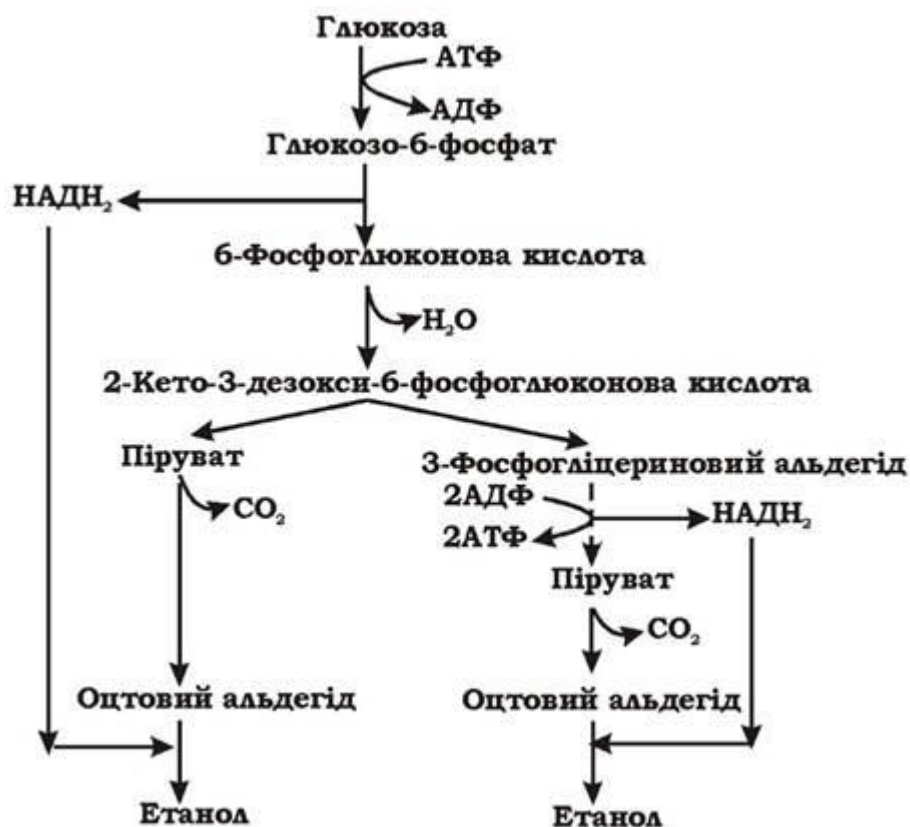


Рис.2.6. Гліколітичний шлях перетворення глюкози на етанол.

Перетворення глюкози на етанол проходить в декілька реакцій, які можна описати наступними чином:

Реакція 1. Фосфорилування D-глюкози відбувається з участю каталізатора фермента гексокінази. Каталітична активність фермента підвищується в присутності Mg^{2+} . Носій фосфогрупи являється трифосфат аденінова кислота (аденозиттрифосфат - АТФ). D-глюкоза етерифікується в піранозній формі – реакційна здатність зростає. Швидкість утворення глюкозо-6-фосфата визначає загальну швидкість бродіння.

Реакція 2. Ізомеризація глюкозо-6-фосфата у фруктозо-6-фосфат протікає з участю фермента глюкозофосфатізомерази. Рівноважна система, що отримала назву ефіра Емдена, складається на 70-75% із фосфата глюкози і на 30-25% із фосфата фруктози.

Реакція 3. Етерифікація гідроксильної групи при першому С-атомі фруктозо-6-фосфата проходить з участю АТФ як носія залишку

ортофосфатної кислоти і фермента фосфофруктокінази в якості каталізатора. Утворюється лабільна оксоформа фруктозо-1,6-дифосфата.

Реакція 4. В результаті розрива С-С- зв'язку в дифосфаті фруктози утворюється фосфодіоксиацетон і 3-фосфогліцериновий альдегід, які при участі фермента триозофосфатізомерази здатні до взаємного перевтілення. В якості побічного продукту при участі альдегідмутази утворюється фосфогліцерин і потім гліцерин.

Реакція 5. Перехід 3-фосфогліцеринового альдегіда в 1,3-дифосфогліцеринову кислоту перебігає з участю неорганічної ортофосфатної кислоти в присутності триозофосфатдегідрогенази. В розрахунку на одну молекулу глюкози потрібно дві молекули фосфокислоти. Носієм водню в окислювальному процесі є нікотинамідаденіннуклеотид (НАД), який як кофермент може віднімати водень від фосфогліцеринового альдегіда.

Реакція 6. Утворення 3-фосфогліцеринової кислоти проходить при участі фосфогліцераткінази. Акцептором залишка фосфатної кислоти є АДФ.

Реакція 7. Ізомеризація 3-фосфогліцеринової кислоти в 2-фосфогліцеринові кислоту проходить за участі фермента фосфогліцеромутази.

Реакція 8. Дегідратація кислоти призводить до утворення фосфоенолпірувату. Каталізатор – анолаза, що активується іонами магнія, мангана і цинку.

Реакція 9. Енолпіруват утворюється в результаті дефосфорилування його фосфата при дії піруваткінази.

Реакція 10. В результаті ізомеризації енолпіруват перетворюється в піровиноградну кислоту з більш високою стабільністю.

Реакція 11. Декарбоксилювання пірувату призводить до утворення оцтового альдегіду під дією піруватдекарбоксилази.

Реакція 12. Відновлення ацетальдегіда в етанол проходить з участю НАД-2Н і фермента алкогольдегідрогенази. При цьому кофермент регенерує

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		38

шляхом окислення в НАД [33].

2.2. Характеристика кінцевого продукту.

Біоетанол – безбарвна горюча рідина, яка застосовується як рідке паливо, пара якого важче повітря. Виробництво біоетанолу з біомаси проходить в три етапи: подрібнення, ферментація та дистиляція в спеціальних брагоректифікаційних колонах.

Хімічна формула: C_2H_5OH

Фізичні властивості:

- Температура спалаху – $13^{\circ}C$
- Температура самозаймання – $363^{\circ}C$
- теплота згорання – 26 МДж/ кг
- Густина – $789,3 \text{ кг/м}^3$
- В'язкість – 1,2 Пз при $20^{\circ}C$
- Температура кипіння – $78^{\circ}C$ [30].

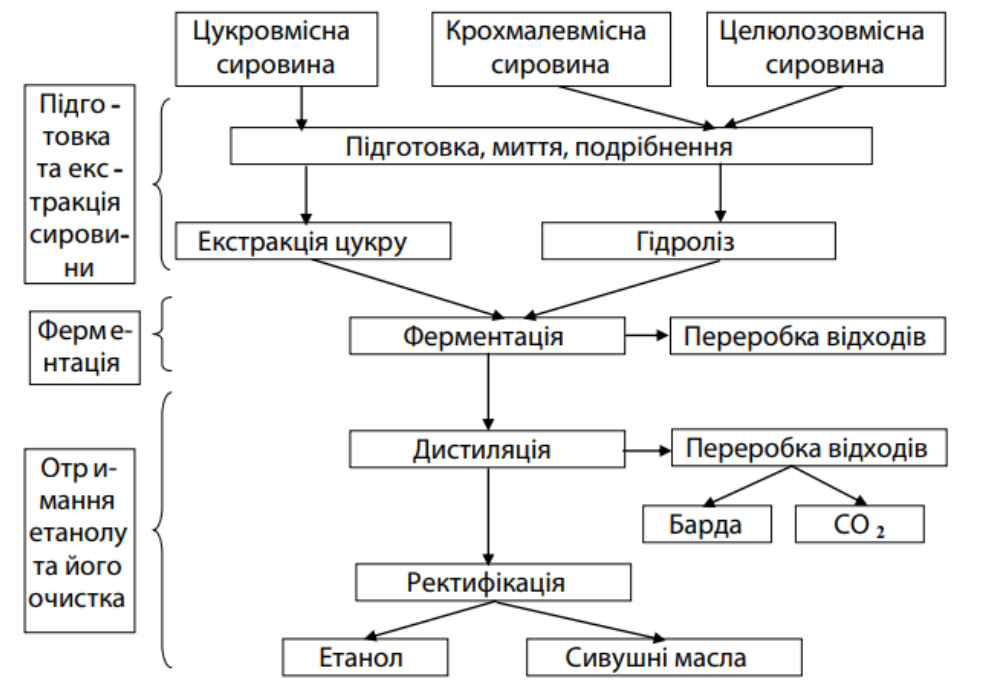


Рис.2.7. Загальна схема виробництва біоетанолу [18].

Залежно від технології виробництва біоетанол може бути марок «А» та «Б» з об'ємною часткою спирту етилового не менше 97,8% та 98,3% (табл.2.1).

Таблиця 2.1 - Характеристика біоетанолу марок А і Б [37].

№№ п/п	Назва показника	Норма показника	
		Марка А	Марка Б
1	Зовнішній вигляд та колір	Прозора безбарвна рідина або світло жовтого забарвлення	
2	Густина за температури $(20 \pm 0,1)^{\circ}\text{C}$, кг/м^3	від 787 до 792	
3	Об'ємна частка води, %, не більше	0,2	
4	Масова концентрація сухого залишку, мг/дм^3 , не більше	100	
5	Об'ємна частка спирту етилового (органічних кисневмісних сполук), %, не менше	97,8	98,3
6	Об'ємна частка метанолу, %, не більше	1,0	
7	Об'ємна частка циклогексану, %, не більше	0,5	-
8	Масова частка кислот, у перерахунку на оцтову кислоту, %, не більше	0,007	
9	Масова концентрація вищих спиртів $\text{C}_3 - \text{C}_5$, г/дм^3 , не більше	12,0	
10	Об'ємна частка бензину (вуглеводнів), %	від 1,0 до 1,5	
11	Масова частка сірки, мг/кг , не більше	10,0	
12	Масова концентрація фосфору, мг/дм^3 , не більше	0,5	
13	Масова частка міді, мг/кг , не більше	0,1	
14	Масова концентрація неорганічних хлоридів, мг/дм^3 , не більше	20,0	

Біоетанол використовують у якості домішок до бензину для покращення його властивостей. Існують деякі сталі співвідношення:

Е5, Е7, Е10 – суміші із низьким вмістом етанолу (5 , 7, 10 % відповідно), які найпопулярніші в наші дні.

Е85 – суміш 85 % етанолу і 15 % бензину.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		40

Е95 – суміш 95 % етанолу і 5 % паливної присадки.

Е100 – формально 100 % етанол, проте , враховуючи гігроскопічність спирту, отримання і використання біоетанолу без присадки або без концентрації води не вигідно.

У порівнянні із харчовим спиртом, паливний етанол не міститься води і виробляється методом скороченої дистиляції – дві ректифікаційні колони замість п'яти. Через скорочену дистиляцію до складу етанолу входить сивушні масла та інші домішки, що унеможлиблює його використання у харчовій промисловості.

Етанол сприяє збільшенню антидетонаційної стійкості бензину, що дозволяє використовувати його у двигунах з високим ступенем стиснення, дозволяє підвищити ККД, та сприяє повноті згорання бензину. Проте важливо є те, що як додаток до палива слід використовувати зневоднений етанол, так як він не утворює емульсій. Відповідно до ДСТУ 7166:2010 «Біоетанол. Технічні умови» біоетанол - спирт етиловий зневоднений, виготовлений зі спирту-сирцю [31].

Для досягнення кращих властивостей етанолу та досягти високих концентрацій потрібно проводити зневоднення.

Серед переваг біоетанолу важливо відмітити:

- зменшує забруднення двигуна
- збільшує значення октанового числа
- мінімальні викиди парникових газів
- піддається біодеградації

Недоліки:

- менша енергоємність ніж у звичних джерелах палива
- висока температура випаровування
- висока корозійність
- теплота згорання нижче ніж у бензину [38].

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		41

Присутність недоліків обумовлює використання біоетанолу як добавку до палив. Для вирішення проблеми необхідно модернізувати систему двигунів сучасних авто.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		42

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Сировина і матеріали технологічного процесу

Найменування	Категорія і номер НТД, згідно якої перевіряються показники якості	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
1. Основна сировина			
1.1. Відходи пшениці - солома	ГОСТ 30061-93 «Зерно і солома зернових культур, цибуля ріпчаста, ґрунт», ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови»	Відсутність плісняви, хвороб, гниття та контамінантів	Початкова сировина
1.2. Мінеральні солі (сульфат амонія, ортофосфат кальцію, дигідрофосфат калія, сульфат магнія, хлорид кальцію, сульфат заліза, манган сульфат, цинк сульфат, хлорид кобальту)	ДСТУ ISO 2992:2008. «Амонію сульфат технічний», ДСТУ 8022:2015 «Кальцію фосфат кормовий», ДСТУ 7274:2012 «Хімічні реактиви. Реактиви, розчини для аналізу та матеріали допоміжні. Методи готування»	Відсутність домішок	Підтримка живлення продуцентів
1.3. Агар	ГОСТ 16280-2002 «Агар харчовий. Технічні умови»	Мікробіологічна чистота	Приготування поживного середовища для грибів

					<i>ЕКБ.БЕ6117.ДП</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ревіна Ю.О.			ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА		
Конс.							
Керів.		Щирська К.О.					
Затверд.							
						Стадія	Арк.
							43
							97
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		

Продовження таблиці 3.1.

Найменування	Категорія і номер НТД, згідно якої перевіряються показники якості	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
1.4. Солод	ДСТУ 4282:2004 «Солод пивоварний ячмінний»	Мікробіологічна чистота	Приготування поживного середовища (сусла) для дріжджів
1.5. Вода питна	ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості»	Відсутність забруднень і мікробіонти, загальна жорсткість не більше 5 ммоль/л, рН в межах 5,5-7,5.	Приготування розчинів та посівного матеріалу, мийка і ополіскування
1.6. Розчин перекису водню	ГОСТ 177-88 «Перекис водню. Технічні умови»	Концентрація 35%	Дезінфекція
1.7. Штам <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	-	Відсутність сторонньої мікрофлори	Посівний матеріал
1.8. Штам <i>Trichoderma reesei</i>	-	Відсутність сторонньої мікрофлори	Посівний матеріал
2. Допоміжна сировина			
2.1. Технічна вода	-	Відсутність механічних домішок	Миття
2.2. Каустична сода	ГОСТ 2263-79 «Натр їдкий технічний»	Відсутність домішок і механічних решток	Процедура миття апарату
2.3. Соляна кислота	ДСТУ 2904-94 «Кислота соляна технічна»	Відсутність механічних домішок	Підкислення культури дріжджів, корегування рН

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕКБ.БЕ6117.ДП

Арк.

44

Продовження таблиці 3.1.

Найменування	Категорія і номер НТД, згідно якої перевіряються показники якості	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
2.4. Стиснене повітря	ДСТУ 4169:2003 «Стиснене повітря. Частина 1. Забруднювачі та класи чистоти» (ISO 8573-1:2001, MOD)	Відсутність контамінантів	Аерація
3. Матеріали			
Каністри (розлив біопалива)	ДСТУ EN 12712:2005 «Каністри пластмасові.», ГОСТ 14192-96 «Маркування вантажів»	Присутність маркування, відсутність зайвих розчинів всередині.	Пакування готової продукції
4. Напівпродукти			
4.1. Бражка	-	Вміст спирту не більше 8,15 % об., вміст гліцерину в межах 0,82- 0,99 г/100 см ² , рН 5±0,2	Перегонка і очищення
4.2. Культуральна рідина	-	КУО в межах 800-900 од/л – для дріжджів. Концентрація целюлаз 7,5-15,0% - для грибів	Ферментативний гідроліз. Зброджування.
4.3. Посівний матеріал	Згідно виробничого регламенту	Відсутність чужорідної мікрофлори	Засів апарата

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕКБ.БЕ6117.ДП

Арк.

45

3.2. Опис технологічного процесу виробництва біоетанолу з целюлози

Технологія розрахована на виробництво біопалива етилового спирту з целюлозовмісних відходів – соломи пшениці об'ємом 2000 т/ добу .

ДР 1. Санітарна підготовка виробництва

Стадія включає в себе: підготовка персоналу, приготування дезінфікуючих засобів, миючих речовин, підготовку робочого приміщення, обладнань та комунікацій. Санітарна підготовка проводиться згідно вимогам ДСанПіН, GMP та інших нормативних актів в сфері біотехнологічних виробництв.

ДР 1.1. Підготовка води очищеної

При використанні води для миття внутрішніх середовищ обладнання та використання води для приготування посівних матеріалів необхідним є забезпечення високої якості води. Очищення води відбувається на фільтрах з інертною фільтрувальною речовиною, а потім проходить доочищення на мембранних фільтрах. Важливо проводити аналізи води на хімічний вміст та мікробіологічну чистоту.

ДР 1.2. Підготовка персоналу

Персонал на виробництві повинен бути санітарно підготовлений та проінформований з приводу техніки безпеки. Персонал повинен проводити регулярний медичний огляд за планом та при потребі. Кожний працівник повинен мати відповідний рівень кваліфікації та обізнаність процесу.

ДР 1.3. Підготовка дезінфікуючих та миючих розчинів

Для обробки обладнань та робочих поверхонь необхідно приготувати розчини миючих та дезінфікуючих засобів, що здійснюється згідно «Методичних рекомендацій щодо приготування і застосування робочих розчинів мийних, дезінфекційних, мийно-дезінфекційних засобів та антисептиків» затверджених Наказом МОЗ України від 14 грудня 2001 р. № 502.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Робітник, який залучений до приготування розчинів повинен одягати спеціальний захисний одяг та дотримуватися засобів безпеки. Важливо контролювати строк придатності засобів.

Традиційно на біотехнологічних виробництвах в якості дезінфектантів використовують порошкоподібний миючий засіб (при застосуванні перемішують з водою при температурі 40-50°C та 40об/хв) та перекис водню 6% розчин (готують у змішувачі додаючи до 35% - ого розчину перекису водню воду при перемішуванні 40 об/хв).

ДР 1.4. Підготовка виробничих приміщень, обладнання та комунікацій

Проводиться задля забезпечення якісного проходження процесу згідно до МУ 42-51-4-93. Підготовчі роботи повинні знизити концентрацію зайвої мікрофлори до 40-60% від початкового вмісту.

ДР 1.4.1 Щоденне прибирання

На початку зміни та вкінці слід проводити прибирання та мийку поверхонь.

ДР 1.4.2 Генеральне прибирання

Передбачає собою процес ретельного контрольного прибирання раз на тиждень. Генеральне прибирання приміщень проводиться один раз на тиждень. Після миття та дезінфекції проводять опромінення а потім вентиляцію повітря в приміщеннях виробничого цеху. Підлогу миють 0,1% розчином миючого розчину – 100 мл/ м².

ДР 1.5 Підготовка обладнання та комунікацій

Проводиться перед початком або після закінчення технологічного процесу (у випадку безперервного поступово після закінчення стадії). Після підготовки та обробки проводять мікробіологічний контроль. Перевірка на герметичність відбувається за допомогою мильного розчину.

ДР 1.5.1 Мийка обладнання та комунікацій

Для проведення даного процесу робітники повинні мати спеціальний одяг. В місцях контакту реагентів відбувається миття миючими розчинами

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

від ДР 1.3. Після дезінфекції апаратів ззовні проводять ополіскування. Задля економії часу підготовки змішують миючий і дезінфікуючий розчини.

ДР 1.5.2 Ополіскування

Після контакту дезінфікуючих засобів із поверхнями, які стосуються виробничого процесу, проводять ополіскування очищеною водою від ДР 1.1.

ДР 1.5.3 Стерилізація обладнання та комунікацій

Стерилізацію проводять насиченою парою (температура пари 140°C, тиск 0,15 МПа) впродовж 2 годин. Обов'язково проводиться мікробіологічний контроль.

ДР 2. Підготовка повітря

Для проведення аерації потрібно проводити підготовку та стерилізацію повітря для забезпечення виготовлення якісної продукції.

ДР 2.1. Забір повітря

Повітря з атмосфери забирають за допомогою повітрозбірника, а потім транспортують із залученням забірної шахти висотою 20-30 м.

ДР 2.2. Попередня очистка повітря від механічних часток

Повітря від ДР 2.1. Механічні частки, які мають розмір більше 5 мкм з повітря вилучають для попереднього очищення повітря за допомогою передфільтра, а потім від грубого пилу очищають з допомогою коміркових фільтрів.

ДР 2.3. Транспортування повітря

Повітря транспортується вентилятором по трубопроводу із електричним управлінням та запобіжними клапанами.

ДР 2.4. Стабілізація термодинамічних показників повітря

В кондиціонері з повітря видаляється зайва волога та інші домішки, стабілізуються фізичні та хімічні властивості, досягаючи тиску на виході 0,3 МПа.

ДР 2.5. Стерилізація повітря

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Після кондиціонування повітря з класу D перетворюється до класу С. Відбувається очистка від мікроорганізмів у фільтрах HEPA. Проводиться фізичний і мікробіологічний контроль.

ДР 3. Підготовка сировини

Сировину попередньо подрібнюють та піддають під гарячу пару.

ДР 4. Підготовка поживного середовища для грибів

Включає в себе змішування компонентів та стерилізація. При біосинтезі целюлолітичних ферментів джерелом вуглецю може бути целюлоза. До складу поживного середовища повинно входити мінеральні сполуки, такі як фосфор, сірка, залізо, цинк, калій, кальцій, магній, тощо. Поживні середовища готують на водопровідній воді. Вміст сухих речовин в середовищах коливається 1,5-10% [13]. За заводськими умовами рекомендують: рН = $4,5 \pm 0,25$ та температура 26-28 °C; склад поживного середовища:

KH_2PO_4 – 5,4 г/л

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - 8,5 г/л

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,7 г/л

CaCl_2 - 0,7 г/л

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,0088 г/л

$\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 0,0028 г/л

$\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 0,0025 г/л

$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - 0,0035 г/л

Лактоза – 15 г/л

Целюлоза (подрібнена солома) – 10 г/л

Соєве борошно – 15 г/л.

Готове поживне середовище до ДР 5.

ДР 5. Стерилізація поживного середовища для грибів.

Для забезпечення безпечного культивування та перешкодити потраплянню сторонньої мікрофлори в поживне середовище, проводять стерилізацію.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ТП 6. Отримання посівного матеріалу грибів.

Для отримання посівного матеріалу мікроскопічні гриби пересіюють в пробірки з скошеним агаризованим поживним середовищем. Мікроскопічні гриби для рясного конідієутворення вирощують при температурі 28-32° С. Водяну суспензію культури, вирощеної на твердому поживному середовищі, з розрахунку 1-5% пересіюють на рідке поживне середовище (50-100 мл) в колби на 750 мл [14].

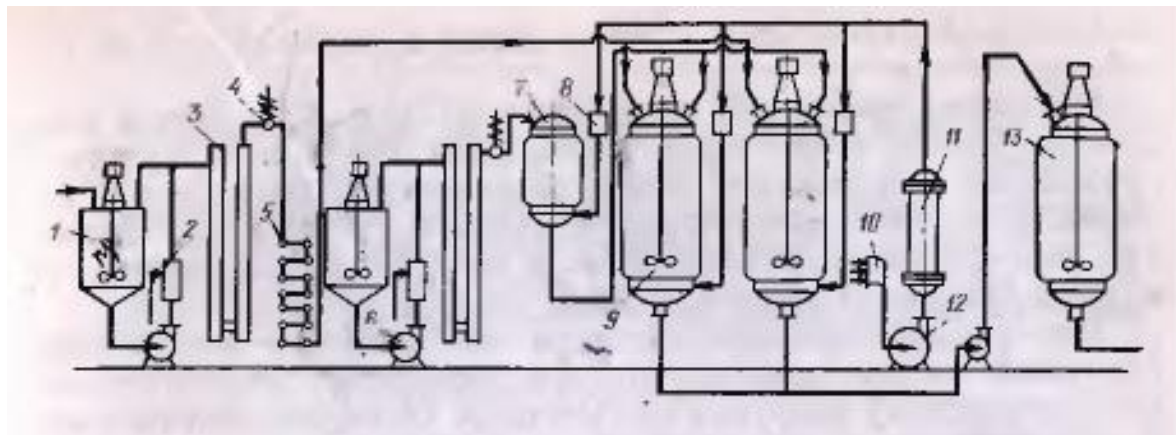


Рис.3.1. Технологічна схема вирощування мікроорганізмів глибинним методом: 1 – змішувач поживного середовища, 2-стерилізатор, 3-визерувавч, 4-редукційний клапан, 5-теплообмінник, 6-центробіжниць насос, 7-маточник, 8-індивідуальний повітряний фільтр, 9-ферментер, 10-повітряний фільтр, 11-загальний повітряний фільтр, 12-повітродувка, 13-збірник готової культури.

ТП 7. Культивування *Trichoderma reesei*

Поживне середовище від ДР 5 та посівний матеріал від ТП 6. Рівень та швидкість утворення ферментів залежить від інтенсивності аерації середовища. В загальному збільшення ступеня аерації середовища призводить, як правило, до підвищення інтенсивності біосинтеза ферментів і зменшенню тривалості культивування.

Поверхневе культивування характерне більшою кількістю баластних речовин, тому з глибинних культур краще отримати очищені препарати ферментів. Доля ферментів у глибинних культурах у 10 разів більше ніж у поверхневих.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕКБ.БЕ6117.ДП

Арк.
50

Культивування проводиться протягом 30-40 годин на качалці при 180-200 об/хв. Для забезпечення посівним матеріалом великі об'єми виробничого середовища, що засівається, культуру, що виросла в колбах, стерильно переміщують в малий, а потім у більший ферментер. Місткість великих інокуляторів становить 10% від об'єму виробничого ферментера. Вирощування проводять при безперервному перемішуванні та аерації стерильним повітрям. Витрата повітря на 1 м³ рідини, яка аерується, зазвичай становить 60 м³ / год [15].

Отриману культуральну рідину вносять на целюлозну сировину для здійснення гідролізу.

ТП 8. Ферментний гідроліз

У гідролізну установку додають сировину від ДР 3 – солому пшениці у подрібненому стані та заливають культуральною рідиною від ТП 7, з попередньо проконтрольованим, станом вмісту ферментів. Вміст ферментів повинен сягати 7,5-15,0%. Про якісь проходження гідролізу свідчить хімічний контроль вмісту. Глюкоза, яка утворилася, відводиться, задля уникнення інгібування процесу. Органічні відходи до ПВ 19.

ДР 9. Підготовка поживного середовища дріжджів

Для приготування поживного середовища використовують солодове сусло. В лабораторних умовах застосовують солод крупного помолу з високою оцукрювальною здатністю. На 1 літр води беруть 250 г солоду. Суміш нагрівають до 50° С і витримують протягом 30 хвилин в цій температурі. Потім повторюють цю дію але при температурі 55° С. Потім підвищують до 63° С та витримують до зникнення реакції на крохмаль. Отримане сусло фільтрую та розбавляють водою до потрібної концентрації [16].

ДР 10. Стерилізація поживного середовища.

Отриманий розчин розливають у скляний посуд по 300-350 мл і стерилізують автоклавуванням при надлишковому тиску 50 кПа протягом 30

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

хвилин або в апараті Коха одну годину протягом 3 діб при температурі 100° С [16].

ТП 11 . Отримання посівного матеріалу.

Поживне середовище засівають чистою культурою враховуючи, щоб біомаса посівних дріжджів з вологістю 75% не перевищувала 20-30% ваги вуглецевмісні компонентів середовища. Вирощування біомаси чистої культури дріжджів, що необхідна для культиваційного резервуара, здійснюють у декілька стадій [14].

*ТП 12. Культивування *Saccharomyces cerevisiae*.*

Поживне середовище від ДР 9 та посівний матеріал від ТП 11. В якості джерела азоту дріжджі використовують зазвичай солі амонія, амінокислоти, рідко нітрати. Деякі види потребують біотин. Дріжджі ростуть в межах рН 3-8, оптимальні значення 3,5-6,5 . Діапазон температур для росту культури 28-30° С. Проточне культивування дозволяє отримати найвищі виходи спирту за рахунок рециркуляції клітин і видалення етанолу в процесі ферментації. Для зниження інгібуючих властивостей етанолу на клітини культури , рекомендовано його видаляти під вакуумом [14].

Процес бродіння розділяють на три етапи: розброджування, головне бродіння, доброджування. Для першого етапу характерне інтенсивне розмноження дріжджів, для другого – енергійне бродіння цукрі і бурхливе виділення вуглекислого газу. Третій етап відбувається з повільним бродінням цукрі, що утворюються в результаті дооцукровування декстринів. Бродіння проходить у закритих апаратах для унеможливлення втрат етанолу і виділення вуглекислого газу у приміщення.

Апарати для культивування працюють під внутрішнім тиском. Вони герметично закриті, мають циліндричний корпус з еліптичною кришкою та днище, виготовлені з нержавіючої сталі. Ферментер оснащений охолоджуючою сорочкою з штуцерами для подачі і виходу води, штуцери для подачі поживного середовища, вихідного продукту. Після бродіння

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		52

рідина проходить через сепаратор, де дріжджі відділяються і ре циркулюють у ферментер. Етанол випарюють та відправляють у дистиляційне відділення [16].

ТП 13. Виділення біоетанолу.

Після бродіння рідина від ТП 12 проходить через сепаратор, де дріжджі відділяються і рециркулюють у ферментер. Етанол випарюють та відправляють у дистиляційне відділення. Вилучення етанолу з браги відбувається шляхом дистиляції.

Під дистиляцією (перегонкою) в спиртовому виробництві розуміють процес виділення із стиглої бражки етанолу разом з усіма леткими речовинами, що в ній містяться. При цьому в результаті перегонки отримують спирт-сирець. Залишок (брага без етанолу) називається бардою [17].

ТП 14. Очистка (ректифікація) біоетанолу.

Дистильований спирт від ТП 13. Ректифікаційні колони, являють собою вертикальні циліндри з контактними пристроями всередині. В ректифікаційних колонах здійснюється багатократний контакт між потоками пари і рідини. При цьому парорідинна суміш намагається досягти рівноважного стану, в результаті чого пари при контакті з рідиною збагачуються легколеткими (низькокиплячими) компонентами, а рідина - важколеткими (висококиплячими) компонентами. Основним елементом колон є тарілки, на яких здійснюється тісний контакт між парою і рідиною.

Бражка нагрівається в дефлегментаторі і надходить у бражну частину колони, де спирт випаровується із бражки парою, яка вводиться в кубову частину колони. Зазвичай на таких установках монтують сітчасті або багатоковпачкові тарілчасті пристрої [18]. Робоча температура колони 200°C, максимальний тиск 3 атм, а робочий - 0,5 атм. Залишки води на ЗВ 18.

ТП 15. Зневоднення ректифікованого спирту

Спирт-сирець від ТП 14 на зневоднення. Після ректифікації спирт

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		53

одразу подається на зневоднення методом азеотропного абсолютування в потрібній суміші вода-бензол-етанол, яка першочергово випаровується з температурою кипіння - 64,85°C. Важливо проводити контроль температури, задля унеможливлення втрат продукту. Далі відправляють на розлив ПМВ 16. Залишки води та бензол до ЗВ 18.

ПМВ 16. Розлив біоетанолу

Розлив палива біоетанолу здійснюється у каністри місткістю 60 л згідно ДСТУ EN 12712:2005 «Каністри пластмасові. Каністри номінальної місткості від 20 дм³ до 60 дм³, розраховані на оптимальне використання піддонів розмірами 800 мм 1200 мм, 1000 мм 1200 мм, 1140 мм 1140 мм».

ПМВ 17. Пакування і маркування кінцевої продукції

Біоетанол від ПМВ 16 розливають та пакують у каністри пластмасові згідно регламенту. Маркування повинно передбачувати попереджувальний знак, який голосить про горючі здатності та знак «Ек» - позначення біопалива. Гарантійний строк зберігання – не більше 5 років.

ЗВ 18. Знешкодження відходів, які утворилися під час технологічного виробництва

Повітря, яке використовувалося у процесі, на виході проходить знезараження та стерилізацію. Стоки, культуральні рідини та посівні матеріали знезаражуються та відводяться у міську каналізацію для доочищення.

Заражене повітря проходить очистку через сепаратор, та наступним етапом очистки у скрубєрі. Суміші хімічних речовин відправляють на нейтралізацію. Промивні води нейтралізують та урівнюють рН до 7.

ПВ 19. Переробка відходів

Впродовж технологічного процесу утворюються напівпродукти та речовини, які можуть повторно використовуватися. Наприклад за добу утворюється 534 т органічних відходів, що використовуються у якості корму для тварин.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3.3. Контроль виробництва біоетанолу

Назва стадії та номер контрольної точки	Об'єкт контролю та показник, що вивчається	Метод контролю	Періодичність перевірки	Нормативна характеристика показника
ДР 1.1. Підготовка води очищеної К _х 1.1.1 К _м 1.1.2	Присутність домішок важких солей	Мікробіологічний контроль	Кожен тиждень	Згідно регламенту
	Мікробіологічна чистота	Хімічний аналіз		
ДР 1.3. Підготовка дезінфікуючих та миючих розчинів К _х 1.3.1 К _х 1.3.2	Концентрація перекису водню	Хімічний аналіз (ваги, мірний посуд)	Кожну операцію	6 % - перекис водню
	Концентрація миючого розчину			10% - розчин миючий
ДР 1.4. Підготовка виробничих приміщень, обладнання та комунікацій К _м 1.4.1 К _м 1.4.2 К _м 1.4.3	Мікробіологічна чистота поверхонь.	Мікробіологічний контроль	Кожну операцію	Згідно з МУ 42-51-4-93
	Мікробіологічна чистота поверхонь апаратів.			
	Мікробіологічна чистота стерилізованого повітря.			
ДР 1.5. Підготовка обладнання та комунікацій К _м 1.5.1	Мікробіологічна чистота обладнання, яке контактує з продуцентами	Мікробіологічний контроль	Кожну операцію	Згідно з МУ 42-51-4-93

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕКБ.БЕ6117.ДП

Арк.

55

Продовження таблиці 3.2.

Назва стадії та номер контрольної точки	Об’єкт контролю та показник, що вивчається	Метод контролю	Періодичність перевірки	Нормативна характеристика показника
ДР 2.5. Стерилізація повітря К _м 2.5.1 К _т 2.5.2	Мікробіологічна чистота	Седиментаційний метод	Під час виробничого процесу 2 рази в тиждень	Менше 40% мікрофлори від загальної початкової
	Вологість	Психрометр	За годину до початку процесу	60%
	Температура	Термометр	Весь час	20°C
ДР 5. Стерилізація поживного середовища для грибів. К _м 5.1	Мікробіологічна чистота	Мікробіологічний контроль (чашки Петрі)	Кожну операцію	Стерильно
ТП 6. Отримання посівного матеріалу грибів. К _м 6.1 К _т 6.2	Мікробіологічна чистота	Засів на чашки Петрі	Кожну операцію	Відсутність сторонньої мікрофлори
	Час	Годинник		30-40 год
	Температура	Термометр		28-32° С
ТП 7. Культивування <i>Trichoderma reesei</i> К _м 6.1 К _т 6.2	Мікробіологічна чистота	Мікробіологічний контроль	Весь час	Без сторонньої мікрофлори
	Температура	Термометр		26 °C
	pH	Контрольні прилади		4,5±0,25
	Аерація			60 м ² /год

Продовження таблиці 3.2.

Назва стадії та номер контрольної точки	Об'єкт контролю та показник, що вивчається	Метод контролю	Періодичність перевірки	Нормативна характеристика показника
ТП 8. Ферментний гідроліз К _х 8.1	Контроль концентрації ферментів	Хімічний аналіз (хроматографія)	Після завершення гідролізу	7,5-15,0%
ДР 9. Підготовка поживного середовища дріжджів К _т 8.1 К _х 8.2	Температура	Термометр	Весь час	50° С, 55° С, 63° С
	Час	Годинник		30 хв
	Контроль вмісту	Хімічний аналіз (якісна реакція)		Відсутність реакції на крохмаль
ДР 10. Стерилізація поживного середовища. К _т 10.1 К _м 10.2	Тиск	Манометр	Впродовж процесу	50 кПа
	Час	Годинник		30 хв
	Мікробіологічна чистота	Мікробіологічний контроль		Стерильно
ТП 12. Культивування <i>Saccharomyces cerevisiae</i> К _т 12.1 К _м 12.2	рН	Вимірювальний пристрій	Весь час	3,5-6,5
	Температура	Термометр		28-30° С
	Мікробіологічна чистота	Контроль вмісту м/о		Без зайвої мікрофлори
ТП 14. Очистка (ректифікація) біоетанолу. К _т 14.1	Тиск	Манометр	Впродовж процесу	0,5 атм
	Температура	Термометр		200°С

Продовження таблиці 3.2.

Назва стадії та номер контрольної точки	Об'єкт контролю та показник, що вивчається	Метод контролю	Періодичність перевірки	Нормативна характеристика показника
ТП 15. Зневоднення ректифікованого спирту	Температура	Термометр	Весь час	64,85°C
ПМВ 16. Розлив біоетанолу	Вміст каністри	Візуально	В кінці розливу	60 л
ПМВ 17. Пакування і маркування кінцевої продукції	Наявність потрібних маркувань	Візуально	Після пакування	Знаки та позначки про вміст згідно НТД
ЗВ 19. Знешкодженн я відходів, які утворилися під час технологічного виробництва	Наявність забруднень різного характеру	Хімічний аналіз	Кожну операцію	Згідно НТД про характер відходів

3.4. Матеріальний баланс

Переробка 1 т відходів дає в сумі 300 л 95%-ого спирту. Маємо матеріальний баланс табл. 3.3.:

Використано			Отримано		
Стадія	Назва сировини, матеріалу, напівпродукту	Кількість	Стадія	Назва кінцевого продукту, напівпродукту, відходу	Кількість
		кг			кг
ДР 3. Підготовка сировини	Солома пшениці (сировина)	1000	ДР 3. Підготовка сировини	Лігнін	115
				Підготовлена сировина	885

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		58

ДР 4. Підготовка поживного середовища для грибів	Мінеральні солі	0,0146 (14,6176 г)	ДР 4. Підготовка поживного середовища для грибів	Поживне середовище	1,0546
	Вода очищена	1			
	Целюлоза	0,01			
	Соєва мука	0,015			
	Лактоза	0,015			
ТП 8. Ферментни й гідроліз	Сировина	885	ТП 8. Ферментни й гідроліз	Гідролізат (глюкоза)	5722
	Культураль- на рідина	4837			
ДР 9. Підготовка поживного середовища дріжджів	Гідролізат	5722	ДР 9. Підготовка поживного середовища дріжджів	Поживне середовище	19089
	Мінеральні солі	5		Конденсат	3818
	Вода	17180			
ТП 12. Культиву- вання <i>Saccharamy ces cerevisiae</i>	Поживне середовище	19089	ТП 12. Культивува ння <i>Saccharamy ces cerevisiae</i>	Недієздатні дріжджі	1560
	Культура	2121		Бражка	19500
				Вуглекислий газ	150
ТП 14. Очистка (ректифі- кація) біоетанолу	Водяна пара	55836	ТП 14. Очистка (ректифіка ція) біоетанолу	Післяспирто ва барда	30000
	Бражка	19500		Лютерна вода	45000
				Метанол	30
				Рект. етанол	300
				Олія сивушна	6
ТП 15. Зневоднен- ня ректифіко- ваного спирту	Ректифікован ий етанол	300	ТП 15. Зневоднен- ня ректифіко- ваного спирту	Біоетанол 99,8%	266,7
	Бензол	858		Вода	33,3
				Бензол	858
Всього		127 334	Всього		127 334

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕКБ.БЕ6117.ДП

Арк.

59

РОЗДІЛ 4. ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ

4.1. Опис та обґрунтування конструкції для виробничого культивування спиртових дріжджів.

Для забезпечення рівномірного росту та розмноження мікроорганізмів важливим є використання перемішуючих систем. У випадку дріжджів важливим є забезпечення перемішування та аерації середовища задля запобігання спиртового бродіння, щоб досягти максимального приросту біомаси. Існує декілька варіантів: пневматичне, циркуляційне, гідравлічне, механічне перемішування [15].

Циркуляційне перемішування – ґрунтується на створенні циркуляційних потоків у середовищі апарату з допомогою струминного або відцентрового насоса. В такий спосіб зазвичай перемішують малов'язкі середовища за необхідності підвищити інтенсивність процесів тепло- та масообміну, та для підтримки частинок у завислому стані [42].

Пневматичне (барботаже) перемішування – процес відбувається шляхом продування стислого повітря, газу, пари, тощо через середовище апарату. Застосування цього способу доцільно в тих випадках, коли одночасно з перемішуванням проходять процеси охолодження або нагрівання, насичення води киснем або іншим газом та компоненти газу вступають із компонентами середовища в масообмінну або хімічну взаємодію.

Гідравлічне (інерційне) перемішування - здійснюється безпосередньо в потоках рухомого середовища або в спеціальному пристрої за допомогою багатократної зміни напрямку руху і швидкості потоків при їхньому спільному русі, а також при організації штучної турбулізації взаємодіючих

					ЕКБ.БЕ6117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ	Стадія	Арк.	Аркушів
Розроб.		Ревіна Ю.О.					60	97
Конс.								
Керів.		Щирська К.О.						
Затверд.						КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ		

фаз. Застосування цього способу пов'язане зі значними втратами енергії на тертя та гідравлічний опір.

Механічне перемішування - відбувається з допомогою підведення енергії до спеціальних перемішуючих пристроїв - мішалок. Такий спосіб перемішування дуже широко використовується у біотехнологічній промисловості, завдячуючи своїй простоті експлуатації та широкому вибору перемішуючих пристроїв.

Також існують інші маловідомі методи перемішування [42,43].

Мішалки класифікують за різними ознаками: за характером виробництва, за режимом роботи, за способом установаження, за конструкцією та методами виготовлення корпусу, за конструкцією внутрішніх пристроїв, тощо.

- *Лопатевими* мішалками називаються пристрої, що складаються із двох або більшого числа лопатей прямокутного перерізу, закріплених на обертовому вертикальному або похилому валу. До лопатевих мішалок відносяться також і деякі мішалки спеціального призначення: якірні, рамні й листові.

- Робочою частиною *пропелерної* мішалки є пропелер - пристрій з декількома фасонними лопатями, вигнутими за профілем гребного гвинта. Найбільше поширення одержали трилопатеві пропелери. На валу мішалки, що може бути розташований вертикально, горизонтально або похило, залежно від висоти шару рідини встановлюють один або кілька пропелерів.

- *Барабанні* мішалки складаються з двох циліндричних кілець, з'єднаних між собою вертикальними лопатями прямокутного перерізу. Висота мішалки становить 1,5-1,6 її діаметра. Мішалки цієї конструкції створюють значний осьовий потік і застосовуються для проведення газорідинних реакцій, одержання емульсій і змучування осадів.

- *Дискові* мішалки мають один або кілька гладеньких дисків, що обертаються з великою швидкістю на вертикальному валу. Течія рідини в

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

апараті спрямована в тангенціальному напрямку за рахунок тертя між рідиною та диском, при цьому диски, що звужуються, створюють також осьовий потік. Іноді край диска конструюють зубчастим. Діаметр диска становить 0,1–0,15 діаметра апарата. Дискові мішалки застосовуються для перемішування рідин в об'ємах до 4 м³.

- *Турбінні* мішалки. Ці мішалки мають форму колес, водяних турбін із плоскими, похилими або криволінійними лопатями, укріпленими, як правило, на вертикальному валу. В апаратах з турбінними мішалками створюються переважно радіальні потоки рідини. При роботі турбінних мішалок з більшим числом обертів поряд з радіальним потоком можливе виникнення тангенціальної течії вмісту апарата й утворення воронки. У цьому випадку в апараті встановлюють відбивні перегородки. Рідина надходить у мішалку паралельно осі вала, викидається мішалкою в радіальному напрямку й досягає найбільш віддалених точок апарата. Турбінні мішалки забезпечують інтенсивне перемішування в повному об'ємі апарата [44].

Отже, враховуючи характеристики вище описаних мішалок доцільним є використовувати турбінні мішалки для перемішування культуральної рідини дріжджів.

4.2. Технічна характеристика апарата

$$1 \text{ т сировини} = 266,7 \text{ л } 99,8\% \text{ спирту за добу} = 0,2667 \text{ м}^3$$

2000 т в день соломи опрацьовується

$$533,4 \text{ тис. л/день} = 533,4 \text{ м}^3/\text{добу}$$

$$194,7 \text{ млн. л/рік} = 194\,700 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Щоб досягнути поставленої мети виробництва біоетанолу за рік $P_p = 194,69 \text{ млн. л/рік}$, потрібно виробляти таку масу за добу [36]:

$$m_{\text{ет.доб}} = \frac{m_{\text{ет.р}}}{365} = \frac{194,69 \text{ млн.л/рік}}{365} = 533,4 \text{ тис. л/добу} = 533,4 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (4.2.1)$$

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		62

Концентрація бражки перед ректифікацією складає 1,5%, важливо врахувати її добову кількість для досягнення мети:

$$m_{\text{бр.доб}} = \frac{m_{\text{ет.доб}}}{C} = \frac{533,4 \text{ тис.л/добу}}{0,015} = 35,56 \text{ млн. л/добу} \quad (4.2.2)$$

1 м³ культури дріжджів може продукувати 0,08 кг спирту.

Для досягнення добового виробництва етанолу потрібно розрахувати кількість біомаси дріжджів, необхідних для цього:

$$m_{\text{бм}} = \frac{m_{\text{бр.доб}}}{f} = \frac{35,56 \text{ млн.} \cdot \frac{\text{л}}{\text{добу}}}{0,08} = 444,5 \text{ млн. л/добу} \approx 44450 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (4.2.3)$$

Зазвичай для культивування дріжджів застосовується батарея з декількох ферментерів об'ємом 100 м³ з коефіцієнтом заповнення – 0,7.

В ході ферментації 10% об'єму – втрати, важливо враховувати коефіцієнт втрат, який рівний – 0,9. Дізнаємось робочий об'єм ферментеру:

$$V_p = V_f \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 100 \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 63 \text{ м}^3 \quad (4.2.4)$$

Знаючи робочий об'єм одного ферментеру та добову потребу в культуральній рідині, визначаємо кількість виробничих процесів на добу:

$$n = \frac{m_{\text{бм}}}{V_p} = \frac{44450}{63} = 706 \quad (4.2.5)$$

Необхідна кількість поживного середовища на добу (солодове сусло):

$$m_{\text{с.с}} = \frac{533,4}{0,08} = 6667,5 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (4.2.6)$$

Нехай, поживні речовини займають близько 1%, 10% належить посівному матеріалу-дріжджам, залишок розчин сусла, тобто 89-90%. Для приготування поживного середовища в 1 літрі води розбавляють 250 г солоду.

Необхідна кількість посівного матеріалу на добу:

$$m_{\text{п.м}} = m_{\text{с.с}} \cdot 0,1 = 6667,5 \cdot 0,1 = 666,75 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (4.2.7)$$

Необхідна кількість поживних речовин:

$$m_{\text{п.р}} = m_{\text{с.с}} \cdot 0,001 = 6667,5 \cdot 0,001 = 6,6675 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (4.2.8)$$

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		63

Необхідна кількість розчину солодового сусла:

$$m_{p-ny} = m_{c.c} - m_{п.м} - m_{п.р} = 6667,5 - 666,75 - 6,6675 = 5994,08 \text{ м}^3 \backslash \text{добу} \quad (4.2.9)$$

Необхідна кількість солоду на добу:

$$m_{сол} = \frac{m_{p-ny}}{4} = \frac{5994,08}{4} = 1498,5 \text{ м}^3 \backslash \text{добу} \quad (4.2.10)$$

Максимальна кількість робочих годин виробництва на рік складає:

$$\tau = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год} \quad (4.2.11)$$

Для досягнення мети необхідно розрахувати кількість ферментерів на підприємстві [45]:

$$N = \frac{m_{c.c} \cdot 29}{V_p \cdot 8760} = \frac{6667,5 \cdot 29}{63 \cdot 24} = 128 \quad (4.2.12)$$

4.3. Конструкційний розрахунок апарату

Вихідні дані:

Температура в апараті: $t_c = 30^\circ \text{C}$

Холодний теплоносіє - вода.

Загальний об'єм апарату: $V_n = 100 \text{ м}^3$

Коефіцієнт заповнення: $k = 0,7$

Тривалість культивування: $\tau = 20 \text{ год}$

Температура поживного середовища: $t = 34^\circ \text{C}$

Номінальний об'єм апарату складає 100 м^3 . Стандартний діаметр складає 3600 мм. Виходячи з діаметру апарату визначимо конструктивні розміри еліптичного днища. Висота еліптичної частини днища:

$$h_{ел} = 0,25D_{вн} = 0,25 \cdot 3,6 = 0,9 \text{ м.} \quad (4.3.1)$$

Оскільки еліптичні днища є стандартними виробами, то за ГОСТ 6533 - 78 «Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов, Основные размеры» знаходимо решту конструктивних розмірів днища апарату:

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		64

- $h_l = 100$ мм – висота основи еліптичного днища;
- $F_{внд} = 15,18$ м² – внутрішня поверхня еліптичного днища;
- $V_{дн} = 7097,1$ дм³ – об'єм еліптичного днища;
- $s_d = 30$ мм – товщина стінки еліптичного днища.

Внутрішній діаметр апарата приймаємо за ГОСТ 20680-2002 «Аппараты с механическими перемешивающими устройствами, Общие технические условия»

Повна висота еліптичного днища:

$$h_{дн} = h_l + h_n = 0,1 + 0,9 = 1 \text{ м.} \quad (4.3.2)$$

Об'єм циліндричної частини апарату:

$$V_{ц} = V_n - 2V_{дн} = 100 - 2 \cdot 7.0971 = 85,8 \text{ м}^3. \quad (4.3.3)$$

Робочий об'єм апарату:

$$V_p = V_{\phi} \cdot K_3 = 100 \cdot 0,7 = 70 \text{ м}^3 \quad (4.3.4)$$

Висота циліндричної частини:

$$H_{ц} = \frac{4 \cdot V_{ц}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 85,8}{3,14 \cdot 3,6^2} = 8,43 \text{ м} \quad (4.3.5)$$

Висота стовпа рідини в апараті:

$$H_p = H_{pc} + h_{дн} = 5,9 + 1 = 6,9 \text{ м} \quad (4.3.6)$$

Загальна висота апарату без штуцерів, без опор складає:

$$H_{заг} = H_{ц} + 2 \cdot h_{дн} = 8,43 + 2 \cdot 1 = 10,43 \text{ м} \quad (4.3.7)$$

Знайдемо площу перерізу ферментеру по внутрішньому діаметру:

$$F = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 3,6^2 = 10,17 \text{ м}^2 \quad (4.3.8)$$

Висота рівня рідини в циліндричній частині:

$$H_{pc} = \frac{4 \cdot K_3 \cdot V_{ц}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,7 \cdot 85,8}{3,14 \cdot 3,6^2} = 5,9 \text{ м} \quad (4.3.9)$$

Проводячи стадію культивування, метою є збільшення біомаси дріжджів

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		65

та запобігання спиртовому бродінню, тому важливим є обладнання апарату перемішуючими та аераційними пристроями – барботер [46].

4.4. Розрахунок перемішуючого пристрою

В якості пристрою для перемішування культуральної рідини в реакторі приймемо турбінну мішалку, схема якої зображена на рис.4.1.

Діаметр турбінної мішалки визначається з формули:

$$d_M = (0,2 - 0,3)D = (0,2 - 0,3) \cdot 3600 = 720 - 1080 \text{ мм.} \quad (4.4.1)$$

Приймемо стандартну турбінну мішалку діаметром 800 мм. Розрахований діаметр мішалки відповідає стандартному значенню діаметра мішалки за ГОСТ 20680-75 «Аппараты с механическими перемешивающими устройствами, Общие технические условия».

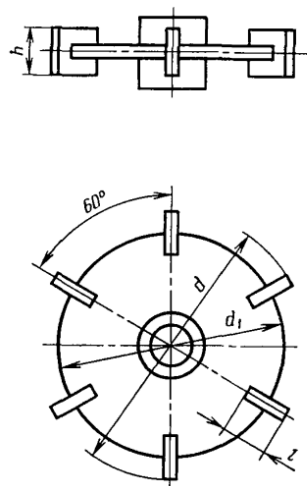


Рис.4.1. Схема турбінної мішалки.

Діаметр турбінної мішалки визначається з формули:

$$d_M = (0,2 - 0,3)D = (0,2 - 0,3) \cdot 3600 = 720 - 1080 \text{ мм.} \quad (4.4.1)$$

Приймемо стандартну турбінну мішалку діаметром 800 мм. Розрахований діаметр мішалки відповідає стандартному значенню діаметра мішалки за ГОСТ 20680-75 «Аппараты с механическими перемешивающими

устройствами, Общие технические условия». Розрахуємо розміри мішалки.

Висота мішалки:

$$h_L = 0,2 \cdot d_M = 0,2 \cdot 800 = 160 \text{ мм} \quad (4.4.2)$$

Ширина лопасті:

$$l_L = 0,25 \cdot d_M = 0,25 \cdot 800 = 200 \text{ мм} \quad (4.4.3)$$

Висота від днища до мішалки:

$$h = 0,5 \cdot d_M = 0,5 \cdot 800 = 400 \text{ мм} \quad (4.4.4)$$

Висота прикріплення мішалки:

$$h = d_M \cdot 0,6 = 800 \cdot 0,6 = 480 \text{ мм} \quad (4.4.5)$$

Ширина перегородки:

$$b = 0,1 \cdot d_M = 0,1 \cdot 800 = 80 \text{ мм} \quad (4.4.6)$$

Окружна швидкість пристрою:

$$w = 2,5 \div 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (4.4.7)$$

Прийmemo $w = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

Частота обертання мішалки:

$$n = \frac{w}{\pi d_M} = \frac{4}{3,14 \cdot 0,8} = 1,59 \text{ с}^{-1} \quad (4.4.8)$$

Діаметр вала мішалки:

$$d_B = C \cdot d_M = 0,117 \cdot 800 = 93,6 \text{ мм} \quad (4.4.9)$$

Для турбінної мішалки приймаємо $C = 0,117$.

Потужність для подолання тертя у торцевому ущільненні:

$$N_{\text{ущ}} = 6020 \cdot d_B^{1,3} = 6020 \cdot 0,0936^{1,3} = 276,8 \text{ Вт} \quad (4.4.10)$$

Враховуючи критерій $Re_{\text{перем.}}$, задаємо $K_N = 6$ – критерій потужності для турбінної мішалки.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		67

Потужність для перемішування:

$$N_n = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_M^3 = 6 \cdot 1034,4 \cdot 1,59^3 \cdot 0,8^3 = 12\,773 \text{ Вт} \quad (4.4.11)$$

$\rho = 1034,4$ – густина середовища

Коефіцієнт висоти рівня рідини $k_n = 1,05$, потужність електродвигуна:

$$N = \frac{k_n \cdot k_B \cdot N_n + N_{\text{ущ}}}{\eta} = \frac{1,05 \cdot 1 \cdot 12\,773 + 276,8}{0,9} = 15\,209,4 \text{ Вт} = 15,2 \text{ кВт} \quad (4.4.12)$$

$k_B = 1$ – коефіцієнт, який враховує наявність внутрішніх пристроїв у апараті з перегородками [47].

4.5. Розрахунок барботеру

Діаметр на якому розміщені отвори в барботері:

$$D_O = (0,75 - 1) \cdot d_M = 0,8 \cdot 800 = 640 \text{ мм} \quad (4.5.1)$$

Відстань від мішалки до барботеру:

$$h_z = 0,25 \cdot d_M = 0,25 \cdot 800 = 200 \text{ мм} \quad (4.5.2)$$

Згідно рекомендацій, на одиницю об'єму культуральної рідини за 1 хв витрачається в половину менше об'єму повітря. Отже, на робочий об'єм 70 м^3 витрати повітря складають $V_r = 35 \text{ м}^3/\text{хв} = 2100 \text{ м}^3/\text{год}$.

Діаметр барботеру:

$$D_0 = 0,5 \div 0,75 \quad (4.5.3)$$

$$D_6 = 2,8 \cdot D_0 = 2,8 \cdot 0,5 = 1,4 \text{ м} \quad (4.5.4)$$

Діаметр отворів барботеру:

$$d_o = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м} \quad (4.5.5)$$

Швидкість повітря в отворах $w_0 = 40 \text{ м/с}$, кількість отворів у барботері:

$$Z = \frac{4 \cdot V_r}{w_0 \cdot d_M \cdot \pi \cdot d_o^2} = \frac{4 \cdot 2100}{40 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,005^2} = 743 \text{ отв.} \quad (4.5.6)$$

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		68

Кількість отворів в одному ряду:

$$z_1 = \frac{\pi \cdot D_6}{t} = \frac{3,14 \cdot 1400}{25} = 176 \text{ отв.} \quad (4.5.7)$$

$t = 25$ мм – крок між отворами.

Кількість рядів:

$$n = \frac{z}{z_1} = \frac{743}{179} = 4 \text{ ряди} \quad (4.5.8)$$

Сумарна площа поперечного перерізу отворів барботера [48]:

$$S_{\text{отв}} = \frac{\pi}{4} d_0^2 \cdot z_{\text{отв}} = \frac{3,14}{4} \cdot 0,005^2 \cdot 743 = 0,0146 \text{ м}^2 \quad (4.5.9)$$

4.6. Тепловий розрахунок

Метою теплового розрахунку є визначення теплового навантаження і поверхні теплообміну теплообмінних пристроїв апарату.

В процесах нагрівання /охолодження середовища в посівних апаратах тепла енергія підводиться/відводиться теплоносієм - водою, що поступає в теплообмінні пристрої апарата: сорочку. Теплота, що підводиться до середовища в апараті (нагрівання) або відводиться від нього (охолодження) визначається з рівняння теплового балансу. Розрахунок ведемо за надходженнями та витратами теплової енергії.

Надходження енергії у ферментер для вирощування посівного матеріалу відбувається [43]:

1) з поживним середовищем

$$E_{\text{пс}} = M_c \cdot C_c \cdot t_c = \rho_c \cdot V_p \cdot 0,9 \cdot C_c \cdot t_c = 1034,4 \cdot 70 \cdot 0,9 \cdot 3954,25 \cdot 30 = 7730,6 \text{ МДж} \quad (4.6.1)$$

$\rho_c = 1034,4 \text{ кг/м}^3$ – густина середовища,

$V_p = 70 \text{ м}^3$ – робочий об'єм апарата ,

$C_c = 3954,25 \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{К}}$ – питома теплопровідність середовища,

$t_c = 30^\circ\text{C}$ – температура середовища.

2) з посівним матеріалом

$$E_{\text{пм}} = M_{\text{пм}} \cdot C_{\text{пм}} \cdot t_{\text{пм}} = \rho_{\text{пм}} \cdot V_{\text{р}} \cdot 0,1 \cdot C_{\text{пм}} \cdot t_{\text{пм}} = 1034,4 \cdot 70 \cdot 0,1 \cdot 3954,25 \cdot 30 = 858,96 \text{ МДж} \quad (4.6.2)$$

$\rho_{\text{пм}}=1034,4 \text{ кг/м}^3$ – густина посівного матеріалу,

$C_{\text{пм}} = 3954,25 \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{К}}$ – питома теплопровідність посівного матеріалу,

$t_{\text{пм}} = 30^\circ\text{C}$ – температура посівного матеріалу.

3) з повітрям

$$E_{\text{пов1}} = M_{\text{пов}} \cdot C_{\text{пов}} \cdot t_{\text{пов}} = \rho_{\text{пов}} \cdot V_{\text{г}} \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot C_{\text{пов}} \cdot t_{\text{пов}} = 1,22 \cdot 0,583 \cdot 72\,000 \cdot 1005 \cdot 30 = 1544 \text{ МДж} \quad (4.6.3)$$

$\rho_{\text{пов}}=1,22 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря,

$C_{\text{пов}} = 1005 \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{К}}$ – питома теплопровідність повітря,

$t_{\text{пов}} = 30^\circ\text{C}$ – температура повітря,

$V_{\text{г}} = 35 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}} = 0,582 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ – витрати повітря,

$\tau_{\text{пр}} = 20 \text{ год} = 72\,000 \text{ с}$ – тривалість культивування.

4) теплота, що виділяється в результаті дисипації механічної енергії від перемішуючих пристроїв

$$E_{\text{дис1}} = N_{\text{n}} \cdot \tau_{\text{пр}} = 12\,773 \cdot 72\,000 = 919,6 \text{ МДж} \quad (4.6.4)$$

$N_{\text{n}} = 12\,773 \text{ Вт}$ – потужність для перемішування.

5) теплота, що виділяється в результаті дисипації механічної енергії від повітря

$$E_{\text{дис2}} = V_{\text{г}} \cdot \Delta p \cdot \tau_{\text{пр}} = V_{\text{г}} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot g \cdot H_{\text{р}} \cdot \tau_{\text{пр}} = 0,582 \cdot 1034,4 \cdot 9,81 \cdot 6,9 \cdot 72\,000 = 2934 \text{ МДж} \quad (4.6.5)$$

6) теплота від реакції, що протікає у ферментері

$$E_{\text{р}} = r_{\text{цук}} \cdot m_{\text{цук}} = 16,5 \cdot m_{\text{цук}} = 16,5 \cdot 651,67 = 53,76 \text{ кДж} = 0,0537 \text{ МДж} \quad (4.6.6)$$

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$m_{\text{цук}} = 0,05 \cdot 0,9 \cdot V_p \cdot \rho_c = 0,05 \cdot 0,9 \cdot 70 \cdot 1034,4 = 3258,36 \text{ кг} \quad (4.6.7)$$

Сумарна кількість надходжень теплоти у ферментер:

$$\sum E_{\text{надх}} = E_{\text{пс}} + E_{\text{пм}} + E_{\text{пов1}} + E_{\text{дис1}} + E_{\text{дис2}} + E_p \quad (4.6.8)$$

$$\begin{aligned} \sum E_{\text{надх}} &= 7730,6 + 858,96 + 1544 + 919,6 + 2934 + 0,0537 = \\ &= 13\,987,2 \text{ МДж} \end{aligned}$$

Витрати теплової енергії здійснюються:

1) з культуральної рідини

$$\begin{aligned} E_k &= M_k \cdot C_k \cdot t_k = \rho_k \cdot V_p \cdot C_k \cdot t_k = 1085,1 \cdot 70 \cdot 4050 \cdot 30 = \\ &= 9228,7 \text{ МДж} \end{aligned} \quad (4.6.9)$$

$\rho_k = 1085,1 \text{ кг/м}^3$ – густина культуральної рідини,

$C_k = 4050 \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{К}}$ – питома теплопровідність культуральної рідини,

2) з повітрям

$$\begin{aligned} E_{\text{пов2}} &= M_{\text{пов}} \cdot C_{\text{пов}} \cdot t_c = \rho_{\text{пов}} \cdot V_{\text{г}} \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot C_{\text{пов}} \cdot t_c = 1,22 \cdot 0,582 \cdot 72\,000 \cdot \\ &1005 \cdot 30 = 1544 \text{ МДж} \end{aligned} \quad (4.6.10)$$

3) втрати теплоти в навколишнє середовище при нагріванні

$$\begin{aligned} E_{\text{втр}} &= 0,02 \cdot (E_k + E_{\text{пов2}}) = 0,02 \cdot (9228,7 + 1544) = \\ &= 215,45 \text{ Дж} \end{aligned} \quad (4.6.11)$$

Сумарні витрати становлять:

$$\sum E_{\text{витрат}} = E_k + E_{\text{пов2}} + E_{\text{втр}} \quad (4.6.12)$$

$$\sum E_{\text{витрат}} = 9228,7 + 1544 + 0,000215 = 10\,772,7 \text{ МДж}$$

Теплове навантаження у ферментері становить:

$$\begin{aligned} E_T &= \sum E_{\text{витрат}} - \sum E_{\text{надх}} = 10\,772,7 - 13\,987,2 = \\ &= -3214,5 \text{ МДж} \end{aligned} \quad (4.6.13)$$

$$Q = |E_T| \quad (4.6.14)$$

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		71

Що говорить про потребу у охолодженні апарату.

Для визначення поверхні теплообміну необхідно знайти коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія у сорочці та від середовища у посівному апараті та коефіцієнт теплопередачі.

Критерій Нуссельта визначаємо з критеріального рівняння:

$$Nu_c = 1,35 Re_c^{0,59} \cdot Pr_c^{0,38} \left(\frac{\mu_c}{\mu_{ст}} \right)^{0,14} \quad (4.6.15)$$

Прийmemo $\mu_c = \mu_{ст}$.

Критерій Рейнольдса:

$$Re_c = \frac{d_m}{v_c} (nd_m + 4W_\Gamma) \quad (4.6.16)$$

$v_c = 8,6 \cdot 10^{-8} \frac{m^2}{c}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища.

$$W_\Gamma = \frac{4V_\Gamma}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0,582}{3,14 \cdot 3,6^2} = 0,057 \text{ м\c} \quad (4.6.17)$$

Тоді:

$$Re_c = \frac{0,8}{8,6 \cdot 10^{-8}} (1,59 \cdot 0,8 + 4 \cdot 0,057) = \frac{1,2}{8,6 \cdot 10^{-8}} = 1,39 \cdot 10^7$$

Критерій Прандтля:

$$Pr_c = \frac{\mu_c \cdot c_c}{\lambda_c} = \frac{0,88 \cdot 10^{-5} \cdot 3954,25}{0,5845} = 0,059 \quad (4.6.18)$$

$\lambda_c = 0,5845 \frac{Вт}{м \cdot К}$ – коефіцієнт теплопровідності

$\mu_c = 0,88 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – кофіцієнт динамічної в'язкості

$c_c = 3954,25 \frac{Дж \cdot кг}{К}$ – питома теплопровідність.

Отже:

$$Nu_c = 1,35 \cdot (1,39 \cdot 10^7)^{0,59} \cdot 0,059^{0,38} \left(\frac{0,88 \cdot 10^{-5}}{0,88 \cdot 10^{-5}} \right)^{0,14} = 7544,6$$

Коефіцієнт тепловіддачі від культуральної рідини у ферментері становить:

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		72

$$\alpha_c = \frac{Nu_c \cdot \lambda_c}{D} = \frac{7544,6 \cdot 0,5845}{3,6} = 1224,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.6.19)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки апарату до води:

$$\alpha_T = \frac{Nu_2 \cdot \lambda}{H_p} \quad (4.6.20)$$

$$\text{де } Nu_2 = C \cdot (Gr \cdot Pr)^a \quad (4.6.21)$$

$$\begin{aligned} (Gr \cdot Pr) &= H_{руб}^3 (t_{ст} - \theta_{ср}) \cdot B = 6,9^3 (30 - 20) \cdot 24,125 \cdot 10^9 = \\ &= 79,25 \cdot 10^{12} \end{aligned} \quad (4.6.22)$$

Приймаємо $H_{руб} = H_p$.

Висоту рубашки приймаємо рівній висоті рівня рідини [46]. Оскільки добуток $Gr \cdot Pr > 10^9$, то коефіцієнти у формулі для визначення критерія Нуссельта мають такі значення: $C = 0,15$, $a = 0,33$, а отже:

$$Nu_2 = 0,15 \cdot (79,25 \cdot 10^{12})^{0,33} = 5791,099$$

$$\alpha_T = \frac{5791,099 \cdot 0,609}{6,9} = 511 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі становить:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_c} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_T}} \quad (4.6.23)$$

де $\lambda_{ст} = 16 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ – теплопровідність стінки,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1224,9} + \frac{0,01}{16} + \frac{1}{511}} = 297,89 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Розрахункова поверхня теплообміну:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{ср} \cdot \tau_{пр}} = \frac{3214,5 \cdot 10^6}{297,89 \cdot 10 \cdot 72 \cdot 000} = 14,99 \text{ м}^2 \quad (4.6.24)$$

Розрахована площа теплообміну має бути меншою за дійсну площу, яку забезпечує даний теплообмінник [48].

$$F < F_d$$

$$F_d = \pi D H_c = 3,14 \cdot 3,6 \cdot 5,9 = 66,69 \text{ м}^2 \quad (4.6.25)$$

$$H_c = H_p - h_{дн} = 6,9 - 1 = 5,9 \quad (4.6.26)$$

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		73

4.7. Вибір загальнозаводського обладнання

Для забезпечення виробничого процесу додатковою енергією для постачання рідини та розчинів використовують електронасоси. В біотехнологічній промисловості широко використовують центробіжні насоси, які призначені для роботи в умовах агресивних розчинів. Насос вибирається за продуктивністю та потужністю.

Повний напір, що розвивається насосом визначається за формулою:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_r + h_n \quad (4.7.1)$$

Корисна потужність визначається за формулою:

$$N_K = \rho g H Q = \frac{\rho g H G}{\rho} = g H G \quad (4.7.2)$$

де Q – об’ємна витрата, $\text{м}^3/\text{с}$

Потужність, що споживається з мережі:

$$N_M = \frac{N_d}{\eta_d} \quad (4.7.3)$$

де $\eta_d = 0,8$ – ККД двигуна.

З урахуванням коефіцієнту запасу міцності потужність установки приймається:

$$N_y = 1,5 N_M \quad (4.7.4)$$

За значенням потужності установки та повного напору електронасос обираємо марки К 160/30 типу 4A112M4 потужністю 15,0 кВт [49].

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

5.1. Охорона праці та техніка безпеки

Виробництво етилового спирту передбачає роботу з вибухо-небезпечними речовинами, газами. Важливим є проведення інструктажу персоналу перед виробничим процесом та забезпечення комфортних умов праці.

Фактори, що зумовлюють умови праці, поділяють на чотири групи:

– Санітарно-гігієнічні фактори – включає показники, що характеризують виробниче середовище робочої зони. Вони залежать від особливостей виробничого обладнання і технологічних процесів, можуть бути оцінені кількісно і нормовані (освітленість, мікроклімат, вміст речовин у повітрі, механічні коливання – шум та вібрації, тощо).

– Психофізіологічні фактори, зумовлені самим процесом праці. З цієї групи лише частина факторів може бути оцінена кількісно (режим та поза праці, небезпечність).

– До третьої групи відносяться естетичні фактори, що характеризують сприйняття працюючим навколишньої обстановки та її елементів; кількісно вони оцінені бути не можуть (гармонійність колективу, ароматичність запахів повітря).

– Четверта група включає соціально-психологічні фактори, що характеризують психологічний клімат у трудовому колективі; кількісній оцінці також не підлягають (спорідненість та характер колективу) [49].

5.1.1. Нормування мікроклімату

Для якісного перебігу виробничого процесу необхідно дотримуватися санітарно-епідеміологічних правил та правил гігієни.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ	Стадія	Арк.	Аркушів
Розроб.		Ревіна Ю.О.					75	97
Конс.								
Керів.		Щирська К.О.				КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ		
Затверд.								

Складовими частинами законодавства в галузі гігієни праці є закони, постанови, положення, санітарні правила і норми затверджені Міністерством охорони здоров'я України, Міністерством охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України, Міністерством праці та соціального захисту, Держстандартом України (наприклад, закони «Про охорону атмосферного повітря», «Про охорону праці», санітарні правила ДСП 173196 «Охорона атмосферного повітря населених місць», ДСН 3.3.6.042199 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», Державний стандарт України ДСТУ ISO 14011:1997 «Настанови щодо здійснення екологічного аудиту» та ін.).

Санітарно-гігієнічне нормування умов мікроклімату (вологість, опромінення, тиск, температура виробничого приміщення) здійснюється за ДСН 3.3.6.042199, які встановлюють оптимальні і допустимі параметри мікроклімату залежно від загальних енерговитрат організму при виконанні робіт і періоду року. Інтенсивність теплового опромінювання працюючих від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсоляція від зашкленних огорожень не повинна перевищувати 35,0 Вт/м² – при опромінюванні 50% та більше поверхні тіла, 70 Вт/м² – при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50% та 100 Вт/м² — при опроміненні не більше 25% поверхні тіла працюючого.

Для нормалізації мікрокліматичних показників проводять ряд заходів: встановлення жалюзі, планування вікон – для запобігання перегрівання; аерація, вентиляція повітря, кондиціонування приміщень – для регулювання температури та вологості згідно ДСН 3.3.6.042199 (Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень) та ГОСТ 12.1.005188 ССБТ (Воздух рабочей зоны). Якщо умови виробничого процесу не дозволяють нормалізувати мікрокліматичні показники робітників забезпечують захисним одягом та приладдям.

Спецодяг повинен мати захисні властивості, які виключають можливість

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

нагріву його внутрішніх поверхонь на будь-якій ділянці до температури 313 К (40° С) у відповідності з спеціальними ДСТами (ГОСТ 12.4.176-89, ГОСТ 12.3.016-87) [50,51].

5.1.2. Освітленість

Якість освітлення має великий вплив на продуктивність праці робітників підприємства, тому для створення сприятливих умов потрібно пам'ятати такі правила:

- рівень освітленості робочих приміщень має відповідати нормам для даного виду роботи згідно СНиПШ14179/85;
- мають бути забезпечені рівномірність та часова стабільність рівня освітленості у приміщенні;
- у полі зору не повинно створюватися сліпучого блиску;
- штучне світло, що використовується на підприємствах, за своїм спектральним складом має наближатися до природного;
- не повинно створюватися небезпечних та шкідливих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпеку ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпечність);
- бути надійним, простим в експлуатації та економічним.

5.1.3. Захист від шуму та вібрацій

На підприємстві, де відбувається робота з масивним обладнанням, насосами, тощо створюється шум, який не входить в оптимальні показники сприйняття для людського організму. Важливо проводити методи із захисту від шуму та вібрації.

Забезпечення максимально можливої звукоізоляції досягається завдяки таким правилам:

- застосуванням огорожень з декількох шарів легкого волокнистого матеріалу;

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- зміною жорсткості звуку підвищенням внутрішнього тертя у конструкції завдяки використанню відповідного матеріалу огороження, або нанесенням вібродемпфуючого шару;
- ліквідацією нещільностей та щілин, особливо в дверях та вікнах, а також у місцях з'єднання різних конструкцій;
- ущільненням притворів застеленням, влаштуванням тамбурів біля дверей тощо;
- зменшенням непрямої передачі звуку;

Задля застереження та захисту персоналу на шумних ділянках підприємства влаштовуються кімнати спостереження і дистанційного керування.

Найдешевшим та примітивним методом звукоізоляції у виробничих приміщеннях є використання звукоізолюючих кожухів, які повністю закривають найбільш шумні агрегати.

Заходи, щодо захисту від дії вібрації поділяють на технічні, організаційні та лікувально-профілактичні. До технічних заходів відносять:

- зниження вібрації в джерелі її виникнення на стадії проектування будівлі;
- зниження діючої вібрації на шляху розповсюдження від джерела виникнення (вібропоглинання, віброгасіння, віброізоляція) ;

До організаційних заходів відносять:

- організаційно-технічні (своєчасний ремонт та обслуговування обладнання за технологічним регламентом, контроль вібрації, дистанційне керування вібронебезпечним обладнанням);
- організаційно – режимні (режим праці та відпочинку, заборону залучення до вібраційних робіт осіб молодших 18 років, тощо);

До лікувально-профілактичних заходів відносяться:

- медична оцінка реакції організму на вібрації;
- лікувальні процедури.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Важливим у захисті від вібрацій є зменшення віброактивності машин та механізмів – зменшення діючих змінних сил у конструкції та зміна їх параметрів [49].

5.1.4. Електробезпека

Вихід з ладу електричних приладів може становити загрозу для людського організму. ДНАОП 1.1.1011.07101 «Правила експлуатації електрозахисних засобів» — чинний нормативний документ, в якому наведено перелік засобів захисту, вимоги до конструкції, обсягів і норм випробувань, порядку застосування і зберігання, комплектування засобами захисту електроустановок та виробничих бригад.

Для забезпечення захисту у разі електробезпеки потрібно дотримуватися:

- ізоляції струмовідних частин;
- недоступності оголених струмовідних частин;
- блокування безпеки;
- засобів координації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованими від землі;
- захисного розділення електричних мереж;
- застосування малих напруг;
- компенсації ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

З метою підвищення рівня електробезпеки в електроустановках застосовується одночасно декілька з перелічених технічних засобів і заходів [52].

5.1.5. Пожежна безпека

Заходи щодо пожежної небезпеки регламентуються ДСТУ 2272193 «Пожежна безпека. Терміни та визначення» та ЗУ «Про пожежну безпеку».

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин і матеріалів, пожежі за ГОСТ 27331187 поділяються на відповідні класи та підкласи:

Клас А – горіння твердих речовин, що супроводжується (підклас А1) або не супроводжується (підклас А2) тлінням;

Клас В – горіння рідких речовин, що не розчиняються (підклас В2) у воді;

Клас С – горіння газів;

Клас Д – горіння металів легких, за винятком лужних (підклас Д1), лужних (підклас Д2), а також металовмісних сполук (підклас Д3);

Клас Е – горіння електроустановок під напругою.

Обмеження розповсюдження та розвитку пожежі забезпечується:

- розміщенням вибухопожежонебезпечних виробничих і складських будинків, зовнішніх установок, складів горючих рідин, горючих газів з урахуванням переважаючого напрямку вітру, а також рельєфу місцевості;
- потрібною вогнестійкістю будівель та споруд, зниженням пожежної небезпечності будівельних матеріалів;
- застосуванням конструктивних рішень, спрямованих на створення перешкоди поширенню пожежі між будинками, улаштуванням протипожежних відстаней між будівлями та спорудами;
- встановленням гранично допустимих за техніко-економічними розрахунками площ;
- застосуванням конструктивних та об'ємно-планувальних рішень, що спрямовані на створення перешкод поширенню небезпечних факторів пожежі приміщеннями;
- зменшенням пожежної небезпеки будівельних матеріалів і конструкцій;

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- зменшенням вибухопожежної та пожежної небезпеки технологічного процесу, використанням засобів, що перешкоджають розливу та розтіканню горючих рідин під час пожежі;
- застосуванням засобів виявлення пожежі та пожежогасіння, у тому числі автоматичних установок пожежогасіння;
- улаштуванням аварійного відключення та перемикання установок і комунікацій;
- використанням вогнеперешкоджуючих пристроїв в устаткуванні.

Загроза розповсюдження та утворення пожеж залежить від кількості та властивості матеріалів, які знаходяться у приміщенні, а також із матеріалів, з яких зроблені будівлі, та рівня їх горючості [53,54].

5.2. Охорона довкілля

В ході виробничого процесу утворюються велика кількість відходів та стоків, забрудненого повітря, які потребують правильного поводження з ними для забезпечення охорони навколишнього середовища.

Згідно вимог СН 245171 («Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий») та ДСН 173196 («Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів») промислові підприємства розміщують на території населених пунктів у спеціально виділених промислових районах або за межами населених пунктів на деякій відстані від них (в залежності від викиду шкідливих речовин).

Між підприємством та житловим районом створюється санітарно-захисна зона, тобто територія між місцями виділення в атмосферу виробничих забруднень та житловими чи громадськими будівлями, ширина якої залежить від класу підприємств, виробництв і об'єктів. Санітарними нормами встановлено п'ять класів підприємств, виробництв і об'єктів в залежності від потужності підприємства, умов технологічного процесу, характеру та кількості викидів в навколишнє середовище шкідливих речовин

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		81

та речовин, що мають неприємний запах, чи шкідливих фізичних впливів, а також з урахуванням передбачуваних заходів щодо зменшення їх несприятливого впливу на довкілля.

Залежно від призначення будівлі і технології виробництва передбачають системи зовнішнього та внутрішнього водопостачання. В залежності від вимог технологічного процесу застосовують такі системи технологічного водопостачання: оборотну, повторного використання, охолодженої, дистильованої, пом'якшеної води та ін. Для скорочення витрат води на технологічні потреби слід застосовувати системи повторного та оборотного водопостачання. Пристрої питного водопостачання (фонтанчики) рекомендується розміщувати у проходах виробничих приміщень, вестибулях, кімнатах відпочинку, на відкритих площадках території підприємства і, як виняток, у виробничих цехах. Мережі господарчо-питного водопостачання мають бути відділені від мереж, що подають не питну воду. Норми витрат води на господарсько-питні потреби становлять 45 л у гарячих цехах та 25 л на працівника в зміну у звичайних цехах.

Каналізація для відведення стічних вод, підрозділяється на виробничу, господарсько-фекальну та зливну. Каналізаційні системи складаються з приймальних пристроїв (лотки, раковини), каналізаційних мереж, станції перекачки, очисних споруд та допоміжних пристроїв. Забороняється спуск господарсько-фекальних та виробничих стічних вод у дренажні колодязі, щоб запобігти забрудненню водоносних шарів ґрунту. За можливості вважається доцільною оборотна система водопостачання, при якій забруднена виробнича вода після очищення знову поступає для потреб технологічних процесів, тобто рециркулює.

Спуск незабруднених виробничих стічних вод (наприклад, з системи охолодження) допускається у зливну каналізацію, що призначена для стікання атмосферних опадів. Для багатьох підприємств допускається спуск стічних вод, що вміщують шкідливі речовини, після відповідної обробки, у

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

міську каналізаційну мережу, якщо концентрація шкідливих речовин у суміші стічних вод підприємства та міських стічних вод не перевищує встановлених норм [49].

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		83

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті обрано та обґрунтовано технологію виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини, а саме з соломи пшениці, методом ферментного гідролізу целюлози. Було запропоновано альтернативний метод гідролізу шляхом обробки сировини культуральною рідиною грибів *Trichoderma reesei* з вмістом целюлаз.

Технологія передбачає переробку 2 000 тон сировини в день, на завершенні виробничого процесу отримуємо 534 тон органічних відходів, що використовуються у якості корму для тварин, що характеризує маловідходне виробництво.

Здійснено аналіз існуючих технологій гідролізу, ректифікації, зневоднення спирту.

Наведено характеристику та переваги використання соломи пшениці у якості сировини: 48 % вмісту целюлози, низька вартість, великі обсяги, целюлоза краще піддається деструкції.

Описано характеристику біологічних агентів: *Trichoderma reesei* - мікроскопічні гриби, відомі високою хітинолітичною і целюлолітичною активністю, та *Saccharomyces cerevisiae* – найкраще вивчені бродильні агенти характерні високою продуктивністю етанолу.

Обґрунтовано вибір технології виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини із застосуванням целюлолітичних ферментів та наведено переваги технології.

Проведено технологічні розрахунки процесу та виробничого ферментеру для культивування спиртових дріжджів. Обрано ферментер з турбінною мішалкою, барботером об'ємом 100 м³, діаметром 3,6 м. Розраховано

					ЕКБ.БЕ6117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Стадія	Арк.	Аркушів
Розроб.		Ревіна Ю.О.					84	97
Конс.								
Керів.		Щирська К.О.						
Затверд.						КПІ ім. Ігоря Сікорського,ФБТ		

матеріальний баланс.

Розроблено технологічну та апаратурну схеми з урахуванням стадій: підготовчі роботи, підготовку персоналу, приготування розчинів, приготування поживних середовищ та посівних матеріалів, культивування продуцентів, ректифікація та зневоднення спирту.

Проект враховує заходи для охорони праці та охорони навколишнього середовища при виробництві біоетанолу.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія гідролізного виробництва. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології технології переробки деревини та рослинної сировини»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Р.І. Черьопкіна. – Електронні текстові дані (1 файл: 813 КБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 46 с.

2. Зелена книга. Регулювання виробництва рідких моторних палив [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2019/06/regulation-of-production-of-liquid-motor-biofuels-2019.pdf>.

3. Біоетанол – альтернативна енергетика і технології майбутнього [Електронний ресурс] // Гнідаський цукровий завод. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://gnidava.lt.ua/2018/01/30/bioetanol-alternatyvna-energetyka-tehnologiyi-majbutnogo/>.

4. Гармаш С. Н. Биотрансформация целлюлозосодержащих отходов с целью получения этанола / Гармаш С. Н.. // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – №5. – С. 22.

5. Сибірний А. Біоетанол: валюту зекономить і довкілля збереже / Сибірний А.. // Дзеркало тижня. – 2001. – №47.

6. Dimitrios Kapsokalyvas. Biomass Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis Dynamics Analysis Based on Particle Size Imaging / Dimitrios Kapsokalyvas, Arnold Wilbers, Ilco A.L.A. Boogers, Maaikje M. Appeldoorn, Mirjam A. Kabel, Joachim Loos and Marc A.M.J. Van Zandvoort,. // Microscopy and Microanalysis. – 2018. – №24. – С. 517–525.

					<i>ЕКБ.БЕ6117.ДП</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ревіна Ю.О.</i>			<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>		
<i>Конс.</i>							
<i>Керів.</i>		<i>Щирська К.О.</i>					
<i>Затверд.</i>							
						<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>
							86
						<i>Аркушів</i>	97
						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>	

7. Маковецька Ю. М. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ УТВОРЕННЯ ТА ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ НА СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЯХ / Маковецька Ю. М.. // Ефективна економіка. – 2015. – №12.

8. Мироничева О. С.. ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ СОЛОМИ,, ПРИ КУЛЬТИВУВАННІ ЇСТІВНИХ ГРИБІВ / О. С. Мироничева. // Таврійський державний агротехнологічний університет. "Вісник ЖНАЕУ". – 2013. - №22.

9. Badal C. Saha. Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of wheat straw to ethanol / Badal C. Saha, Loren B. Iten, Michael A. Cotta, Y. Victor Wu. // Process Biochemistry. – 2005. – №12. – С. 3693–3700.

10. Ruigang Liu, Hui Yu, Yong Huang. Structure and morphology of cellulose in wheat straw / Ruigang Liu, Hui Yu, Yong Huang. // Cellulose. – 2005. – №12. – С. 25–34.

11. Гелетуха Г.Г. БИОМАСА ЯК ПАЛИВНА СИРОВИНА / Гелетуха Г.Г., Жовмір М.М., Олійник Є.М., Радченко С.В.. // Промышленная теплотехника. – 2011. – №5. – С. 79–87.

12. С. Л. Семірненко, Ю. І. Семірненко. ВИКОРИСТАННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЦІЛЯХ СОЛОМИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ / С. Л. Семірненко, Ю. І. Семірненко. // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2016. – №10. – С. 101–104.

13. Склярєнко Є. В. , Воробйов Л. Й. КАЛОРИМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ КОМПОЗИТНИХ ПАЛИВ З БІОМАСИ НА ОСНОВІ СОЛОМИ ПШЕНИЦІ / Склярєнко Є.В. , Воробйов Л.Й. // The scientific heritage. – 2019. – №32. – С. 38–43.

14. Промышленная микробиология: Учеб. пособие для вузов по спец. «Микробиология» и «Биология» / З. А. Аркадьева, А. М. Безбородов, И. Н. Блохина и др.; Под ред.. Н. С. Егорова. – М.: Высш. Шк., 1989. – 688 с.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

15. Мосичев М. С. Общая технология микробиологических производств / Мосичев М.С., Складнев А.А., Котов В.Б. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 264 с.

16. Воробьева Л.И. Промышленная микробиология: Учеб. пособие.- М.: Издво МГУ, 1989.- 294с.

17. Справочник по производству хлебопекарских дрожжей / С. С. Новаковская, Ю. И. Шишацкий. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 374 с.

18. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНОГО АПАРАТА – Мелітополь: ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, 2016. – 20 с. – (Методичні вказівки.).

19. Дубровін В. О. Біодизель та біоетанол / Дубровін В. О., Голуб Г. А.. – Київ, 2015. – 54 с. – (Серія навчально -методичних матеріалів).

20. ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО И ПОВЕРХНОСТНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГРИБОВ TRICHODERMA ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ КЛЕТОК ГРИБА / Д. Д. Зиганшин, А. С. Сироткин. // Вестник технологического университета. – 2017. – №10. – С. 155–159.

21. ГРИБ-АНТАГОНИСТ TRICHODERMA HARZIANUM [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://rosecatalog.ru/articles/lekarstva/biofungicides/194-grib-antagonist-trichoderma-harzianum.html>.

22. Здановський В.Г. Оцінка можливості використання біомаси для забезпечення енергетичної самодостатності регіонів / В.Г.Здановський, О.В. Шомін, Н.М. Денисова. – 2011. – с. 22.

23. С.Н. ГАРМАШ. БИОКОНВЕРСИЯ ОТХОДОВ АГРАРНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА /

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

С.Н. ГАРМАШ. // СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ. РОСЛИННИЦТВО. ЗЕМЛЕРОБСТВО. СЕЛЕКЦІЯ. – 2016. – №2. – С. 32–36.

24. К.В. ДМИТРУК , А.А. СИБИРНЫЙ. МЕТАБОЛИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ ДРОЖЖЕЙ *HANSENULA POLYMORPHA* ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОДУЦЕНТОВ ЭТАНОЛА / К.В. ДМИТРУК , А.А. СИБИРНЫЙ. // Цитология и генетика. – 2013. – №6. – С. 3–21.

25. L.T. Fan , M.M. Gharpuray, Y.-H. Lee. Cellulose Hydrolysis / L.T. Fan , M.M. Gharpuray, Y.-H. Lee. – Berlin: Springer Verlag, 2012. – 198 с. – (Biotechnology Monographs).

26. Михайлова Р.В. Мацерирующие ферменты мицелиальных грибов в биотехнологии / Михайлова Р.В.. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 407 с. – (Национальная академия наук Беларуси).

27. Леонтьев Д. В., Акулов О. Ю. Загальна мікологія: Підручник для вищих навчальних закладів. — Х.: Вид. група «Основа», 2007. — 228 с.: 375 іл.

28. Алимова Ф.К. Промышленное применение грибов рода *Trichoderma* / Ф.К.Алимова. – Казань: Казанский государственный университет им.В.И.Ульянова-Ленина, 2006. – 209 с.

29. Бабьева И. П., Чернов И. Ю. Биология дрожжей. / Бабьева И. П., Чернов И. Ю. - Москва: Товарищество научных изданий КМК. – 2004. – 240 с.

30. Биотопливо: Краткая характеристика и способ получения биоэтанола [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://media.ls.urfu.ru/599/1682/4040/4918/2853/>.

31. В.В. Брей , И.В. Щуцкий. Біоетанол в Україні / В.В. Брей , И.В. Щуцкий. // Вісник НАН України. – 2016. – №6. – С. 71–76.

32. Овчинников Д.В. БИОЭТАНОЛ ЯК МОТОРНЕ ПАЛИВО:

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		89

ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ / Овчинніков Д.В.. // Науково-технічний збірник "Вісник національного транспортного університету". – 2017. – №1. – С. 300–307.

33. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств. Учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 496 с.

34. Биотехнология: Учеб. пособие для вузов. В 8 кн./ Под ред. Н.С. Егорова, В.Д. Самуилова. Кн.8: Инженерная энзимология/ И.В. Березин, А.А. Клесов, В.К. Швядас и др. – М.: Высш.шк, 1987. – 143 с.

35. Клесов А.А., Григораш С.Ю. Ферментативный гидролиз целлюлозы / Клесов А.А., Григораш С.Ю. // Биоорганическая химия / Клесов А.А., Григораш С.Ю.. – М., 1981. – (Химический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова). – (7; т. 10). – С. 1538–1552.

36. А.П. Синицын, А.В. Гусаков, В.М. Черноглазов. Биоконверсия лигноцеллюлозных метариалов : Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ – 1995. – 224 с.

37. ДСТУ 7166:2010 «Біоетанол. Технічні умови».

38. Колосов, О. Є. Високоєфективні засоби приготування біопалива / О. Є. Колосов, Г. Л. Рябцев, В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, С. О. Пристайлов. – К. : Січка, 2010. – 152 с.

39. Справочник работника спиртовой промышленности / под ред. П. В. Рудницкого. – КИЇВ: ТЕХНІКА, 1972. – 384 с.

40. Справочник по производству спирта. Сырье, технология и теххимконтроль/ В. Л. Яровенко, Б. А. Устинников, Ю. П. Богданов, С.И. Громов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 336 с.

41. Стабников В. Н. Перегонка и ректификация этилового спирта / В. Н. Стабников. – М.: Пищевая промышленность, 1959. – 456 с.

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

42. Быков В. А. Биотехнология: Учеб. пособие для вузов. В 8 кн. Микробиологическое производство биологически активных веществ и препаратов / В. Д. Быков, И. А. Крылов, М. Н. Манаков и др. // Москва, Высш. шк., 1987. – 143 с.

43. Елинов Н.П. Основы биотехнологии. Для студентов институтов, аспирантов и практических работников. Изд. фирма "Наука" СПб 1995. - 600 стр, 166 ил

44. Механічне перемішування. Типи мішалок і їх характеристика. Витрати енергії на перемішування. [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/5009951/page:9/>.].

45. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. изд 2-е, пер. и доп. – М.: Химия, 1991. – 493с.

46. Соколов В.Н., Яблокова М.А. Аппаратура микробиологической промышленности. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1988. – 278 с.

47. Лашинский А. А. Конструирование и расчет химической аппаратуры: Справочник / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский // СПб, Машиностроение, 1970. – 752 с.

48. Колунянц Л.И. Оборудование микробиологических производств / К. А. Колунянц, Л. И. Голгер, В. Е.Балашов // Москва, Агропроиздат, 1987. – 398 с.

49. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене/К.Н.Ткачук, М.О. Халімовський, В.В.Зацарний, Д.В.Зеркалов За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського.-К.: Основа,2006. –С.234.

50. ГОСТ 12.4.176-89 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная для защиты от теплового излучения. Требования к защитным свойствам и метод определения теплового состояния человека».

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

51. ГОСТ 12.3.016-87 «Система стандартов безопасности труда. Строительство. Работы антикоррозионные. Требования безопасности».

52. ДНАОП 1.1.10-1.07-01. «Правила експлуатації електрозахисних засобів».

53. ГОСТ 27331-87 «Пожежна техніка. Класифікація пожеж».

54. Закон України «Про пожежну безпеку».

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ДОДАТОК А

Специфікація обладнання

Позиція	Позначення	Найменування, технічна характеристика	Кількість	Маса, кг	Примітка
Зб-1		Збірник для попередньої обробки сировини парою	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Д-2		Об'ємно-ваговий дозатор для сировини	1		Збірний
Р-3	ВЕЕ	Реактор для приготування посівного матеріалу дріжджів об'ємом 100 м ³ , обладнаний сорочкою, турбінною мішалкою та барботером. Коефіцієнт заповнення 0,7. Діаметр апарату 3600 мм, частота перемішування мішалки 1,59 с ⁻¹ .	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Д-4		Об'ємно-ваговий дозатор для поживного середовища	1		Збірний
Р-5	ВЕЕ	Реактор для приготування посівного матеріалу мікроскопічних грибів. Обладнаний	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

		барботером, мішалкою та сорочкою. Об'єм 100 м ² . Коефіцієнт заповнення 0,7.			
Д-6		Об'ємно- ваговий дозатор для поживного середовища	1		Збірний
Пр-7		Пробірки для приготування поживного середовища.	3		
К-8		Колби для приготування поживного середовища.	3		
Т-9	СТА	Теплообмінник розбірний пластинчатого типу на консольній рамі. Поверхня одної пластини 0,5 м ² .	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
Пр-10		Пробірки для приготування поживного середовища.	3		
К-11		Колби для приготування поживного середовища.	3		
Т-12	СТА	Теплообмінник розбірний пластинчатого типу на консольній рамі. Поверхня одної пластини 0,5 м ² .	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
ФВ-13		Виробничий	1		Неірж.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕКБ.БЕ6117.ДП

Арк.

94

		ферментер для культивування грибів об'ємом 50 м ²			сталь 12Х18Н1 0Т
Д-14		Об'ємно-ваговий дозатор для поживного середовища	1		Збірний
Р-15		Реактор для гідролізу (змішування сировини з культуральною рідиною грибів)	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
Д-16		Об'ємно-ваговий дозатор для культуральної рідини	1		Збірний
Д-17		Об'ємно-ваговий дозатор для сировини	1		Збірний
Фв-18		Виробничий ферментер для бродіння об'ємом 50м ² .	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
Д-19		Об'ємно-ваговий дозатор для гідролізата	1		Збірний
С-20		Бражний сепаратор з примусовою циркуляцією . Н – 8690 мм, Dс – 3200 мм	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
Ва-21	ВВА	Випарний апарат	1		
Вн-22		Вакуумний насос	1		Збірний
Рк-23		Бражна колона для ректифікації бражки обладнана	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

		решітчастими тарілками провального типу, обігрівається гострою парою.			
Д-24 Д-26 Д-28		Об'ємно-вагові дозатори для спирту-сирцю	3		Збірний
Рк-25		Ректифікаційна колона обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівається гострою парою, працює при атмосферному тиску.	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
Рк-27		Метанольна колона, що обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівається глухою парою.	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
Рк-29		Дегідратаційна колона	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
Рк-31		Концентраційна колона	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
Д-30 Д-32		Об'ємно-вагові дозатори для ректифікованого спирту	2		
КП-1.1	Flus	Прилад для	15		Збірний

					ЕКБ.БЕ6117.ДП	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

КП-3.1 КП-5.1 КП-9.1 КП-12.1 КП-13.1 КП-15.1 КП-18.1 КП-20.1 КП-21.1 КП-23.1 КП-25.1 КП-27.1 КП-29.1 КП-31.1	"IR811"	вимірювання температури. Пірометр, діапазон вимірювань від - 50°C до +500°C			
КП-1.2 КП-3.2 КП-5.2 КП-9.2 КП-12.2 КП-13.2 КП-15.2 КП-18.2 КП-20.2 КП-21.2 КП-23.2 КП-25.2 КП-27.2 КП-29.2 КП-31.2	МП 4-У	Манометр призначений для вимірювання надлишкового тиску неагресивних, рідин, пари, газу. Клас точності - 1; 1,5. Діапазони показань тиску: - газу - від 0 до 600 кгс/см ² (від 0 до 60 МПа); - рідини - від 0 до 1600 кгс/см ² (від 0 до 160 МПа).	15		Збірний